

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 10-078543

(43)Date of publication of application : 24.03.1998

(51)Int.Cl.

G02B 13/00  
G02B 3/00  
G02B 13/18  
G02B 15/167

(21)Application number : 08-252238

(71)Applicant : OLYMPUS OPTICAL CO LTD

(22)Date of filing : 04.09.1996

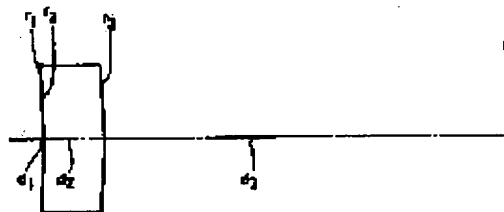
(72)Inventor : NAGAOKA TOSHIYUKI

## (54) OPTICAL SYSTEM

### (57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To excellently compensate chromatic aberration including g-line in an optical system used with a light source of white light or multiwavelength by satisfying a specified condition when the inclination of the refractive index distribution of a radial type graded index lens is different for every wavelength.

SOLUTION: This system uses a radial type graded index lens having a refractive index distribution from the optical axis to the radial direction and the lens satisfies the condition:  $\Delta\theta_g F < 0.5$ . Here,  $\Delta\theta_g F$  is a value represented by  $\Delta\theta_g F = |\Delta\theta_g F(e) - \Delta\theta_g F(O)|$ . In the equation,  $\Delta\theta_g F(e)$ ,  $\Delta\theta_g F(O)$  represent partial dispersion ratios at the effective diameter ( $r=e$ ) and on the optical axis ( $r=O$ ) of the radial type graded index lens and is given by  $\theta_g F(r) = |n_g(r) - n_F(r)| / |n_F(r) - n_C(r)|$ , where,  $n_g(r)$ ,  $n_F(r)$ ,  $n_C(r)$  are r efractive indices at the radius r for g-line, F-line and C-line.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 19.08.2002

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other

than the examiner's decision of rejection or  
application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 3573575

[Date of registration] 09.07.2004

[Number of appeal against examiner's  
decision of rejection]

[Date of requesting appeal against  
examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

## (12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-78543

(43) 公開日 平成10年(1998) 3月24日

(51) Int.Cl. <sup>6</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 2 B 13/00			G 0 2 B 13/00	
3/00			3/00	B
13/18			13/18	
15/167			15/167	

審査請求 未請求 請求項の数 3 F D (全 38 頁)

(21) 出願番号 特願平8-252238

(22) 出願日 平成8年(1996) 9月4日

(71) 出願人 000000376

オリンパス光学工業株式会社

東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号

(72) 発明者 永岡 利之

東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号 オリ

ンパス光学工業株式会社内

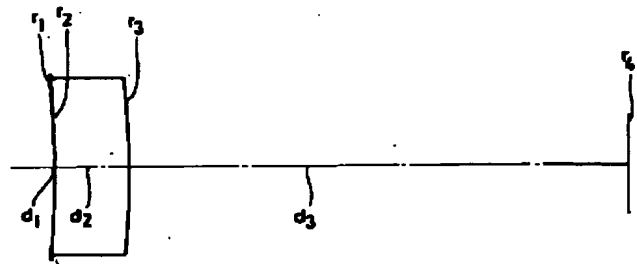
(74) 代理人 弁理士 向 寛二

(54) 【発明の名称】 光学系

(57) 【要約】

【目的】 本発明は、白色又は多波長の光源の下で用いられる光学系で、 $g$  線をも含めて色収差が良好に緒補正された光学系を提供することを目的とする。

【構成】 本発明の光学系は、媒質中に光軸から半径方向に向かって屈折率分布を有するラジアル型屈折率分布レンズを有し、このラジアル型屈折率分布レンズの分布の傾きが異なるとき、有効径と光軸上とにおける部分分散比の差を一定の範囲内に設定したものである。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】媒質中に光軸から半径方向に向かって屈折率の分布を有するラジアル型屈折率分布レンズを少なくとも有し、前記ラジアル型屈折率分布レンズの屈折率の分布の傾きが各波長毎に異なるとき、下記条件(1)を満足することを特徴とする光学系。

$$(1) \quad \Delta \theta_{.r} < 0.5$$

$$\theta_{.r}(r) = |n_s(r) - n_r(r)| / |n_r(r) - n_c(r)| \quad (c)$$

ただし、 $n_s(r)$ 、 $n_r(r)$ 、 $n_c(r)$ は夫々半径  $r$  の点での  $g$  線、 $F$  線、 $C$  線に対する屈折率である。

【請求項2】少なくとも1枚の正レンズと少なくとも1枚の負レンズとを有し、最も物体側が負レンズである前群と、少なくとも1枚の正レンズを含む後群とにて構成され、少なくとも1枚のレンズが光軸から半径方向に屈折率分布を有するラジアル型屈折率分布レンズであり、前記屈折率分布レンズの少なくとも1面が平面であることを特徴とする光学系。

【請求項3】媒質中に光軸から半径方向に向かって屈折率分布を有するラジアル型屈折率分布レンズ1枚よりなり、前記ラジアル型屈折率分布レンズ内部に絞りを有することを特徴とする光学系。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、主として白色または多波長の光源の下で用いる光学系に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】媒質中に光軸から半径方向に向かって屈折率の分布を有するラジアル型屈折率分布レンズは、均質レンズと比較して収差補正の自由度が大であることから、光学系を構成するレンズ枚数の削減や結像性能の向上に効果的である。特に色収差の補正に優れた特徴を持ったため、カメラや顕微鏡等の白色または多波長の光源下で用いる光学系中にこのラジアル型屈折率分布レンズを用いた従来例が数多く知られている。

【0003】しかし、このようなラジアル型屈折率分布レンズを用いた従来例の多くは、1次スペクトルつまり  $d$  線、 $F$  線、 $C$  線の3波長の補正についてしか考慮されておらず、2次スペクトル、つまり  $g$  線も含めた4波長の補正については考慮されていない。

※ 40

$$\Delta \theta_{.r} = | \theta_{.r}(e) - \theta_{.r}(0) | \quad (b)$$

上記式(b)において、 $\theta_{.r}(e)$ 、 $\theta_{.r}(0)$ は夫々ラジアル型屈折率分布レンズの有効径( $r=e$ )および光軸上( $r=0$ )での部分分散比を表わすもので、下記式★

$$\theta_{.r}(r) = |n_s(r) - n_r(r)| / |n_r(r) - n_c(r)| \quad (c)$$

ただし、 $n_s(r)$ 、 $n_r(r)$ 、 $n_c(r)$ はそれぞれ半径  $r$  の点での  $g$  線、 $F$  線、 $C$  線の屈折率である。

【0013】上記の条件(1)は、広い波長域で用いる光学系で発生する色収差を良好に補正するための条件であって、この条件(1)を満足することにより広い波長

\*ただし  $\Delta \theta_{.r}$  は下記式(b)にて与えられる定数である。

$$\Delta \theta_{.r} = | \theta_{.r}(e) - \theta_{.r}(0) | \quad (b)$$

ここで  $\theta_{.r}(e)$  および  $\theta_{.r}(0)$  は、半径  $r$  の点での部分分散比を下記式(c)にて表わした時の、夫々ラジアル型屈折率分布レンズの有効径( $r=e$ )および光軸上( $r=0$ )における部分分散比である。

※【0004】顕微鏡やビデオカメラ、銀塩カメラ等の光学系においては、 $g$  線程度の短波長域も含めた広い波長域での色収差を補正することが強く求められている。

【0005】ラジアル型屈折率分布レンズを用いた光学系で、 $g$  線について記載された従来例として、特開平1-223408号公報、特開平1-246517号公報に記載された光学系が知られている。

【0006】しかし、これら従来例は、媒質で発生する  $d$  線と  $g$  線の2波長の色収差についての補正が記述されているのみで、 $d$  線、 $C$  線、 $F$  線、 $g$  線の4波長については考慮されていない。

20 【0007】また、特開平5-93852号公報には、 $g$  線についての記載があるラジアル型屈折率分布レンズの開示がなされているが、これは歪曲収差を補正するためのフィルターであって屈折力がほぼ0であり各種光学系に適用して色収差を良好に補正することは困難である。

## 【0008】

【発明が解決しようとする課題】本発明は、白色又は多波長の光源の下で用いられる光学系で、 $g$  線をも含めて色収差が良好に補正された光学系を提供することにある。

## 【0009】

【課題を解決するための手段】本発明の光学系は、媒質中に光軸から半径方向に向かって屈折率の分布を有するラジアル型屈折率分布レンズを用いたもので、このラジアル型屈折率分布レンズが下記条件(1)を満足することを特徴としている。

$$\Delta \theta_{.r} < 0.5$$

ただし、 $\Delta \theta_{.r}$  は、次の式(b)にて表わされる値である。

## 【0011】

★(c)で与えられる。

## 【0012】

域での色収差を補正し得る。

【0014】ラジアル型屈折率分布レンズは、媒質中に光軸から半径方向に軸対称な屈折率分布を持ち、面での屈折に加えてレンズの媒質中で光線を屈折させることが可能である。そのため、均質レンズに比較して収差補正

の自由度が大で、特に色収差の補正に優れた能力を持っている。そのため、媒質と面とで発生する色収差を考慮しつつラジアル型屈折率分布レンズ単体で d 線、C 線、F 線、g 線の 4 波長の色収差を良好に補正することを考える。

【0015】まず、ラジアル型屈折率分布レンズの媒質\*

ただし、r は光軸から半径方向への距離、 $n_i(r)$  はある波長  $\lambda$  の距離 r

の点での屈折率を表わし、例えば  $n_i(r)$  は半径 r における d 線の屈折率、 $N_{i,i}$  は波長  $\lambda$  の 2 i 次の屈折率分布係数を表わし例えば  $N_{i,i}$  は d 線に対する 2 次の屈折率分布係数を表わす。

※

変化を示している。又図中 e はレンズの有効径、 $\Delta n_i$  は、ある波長の光軸

上と有効径での屈折率差である。また、屈折率分布の傾き（各曲線の傾き）は、光軸からレンズ周辺部へ向かっての屈折率の変化の度合いを表わしており、この傾きが各波長毎に異なることは、屈折率分布を表わす式 (a) における 2 次の屈折率分布係数  $N_{i,i}$  が各波長毎に異なる値を持つことを意味する。つまり  $N_{i,i}$ 、 $N_{i,c}$ 、 $N_{i,r}$ 、 $N_{i,g}$  が夫々異なる値を持つことを意味している。したがって仮りに屈折率分布の傾きが各波長毎に一致していれば 20 波長間の媒質の焦点距離は一致し、色収差は発生しない。しかし実際の屈折率分布素材の作製上、通常屈折率分布の傾きは各波長毎に異なり、それらを一致させることは困難である。

【0018】本発明は、屈折率分布レンズの屈折率分布の傾きが各波長毎に異なっている、ラジアル型屈折率分布レンズが前記条件 (1) を満足するようにして、色収差を許容できる範囲に補正し得るようにしたものである。

【0019】ここで、2 次スペクトルを良好に補正するための条件を述べる。ラジアル型屈折率分布レンズをレンズ単体で、あるいは光学系中に用いて、d 線、C 線、F 線、g 線の 4 波長を良好に補正するためには、各波長毎の屈折率分布の傾きが大きく異ならなければならないことが必要である。例えば図 4 2 に示すように d 線、C 線、F 線に対する g 線の屈折率変化が大きく異なると、g 線の焦点距離が d 線、C 線、F 線の焦点距離と大きく異なり、2 次★

$$PAC = K (\phi_s / V_0 + \phi_s / V_1) \quad (d)$$

ただし、K は軸上光線の光線高および最終近軸光線角度に依存する定数、 $V_i$  は 2 i 次の屈折率分布係数に対応する分数を表わす値で、 $V_0$  は下記式 (e) で与えられ、 $V_i$  は下記式 (f) の  $i = 1$  の場合に与えられる。

又  $\phi_s$  はラジアル型屈折率分布レンズの d 線における薄☆

$$V_0 = (N_{0,d} - 1) / (N_{0,r} - N_{0,c}) \quad (e)$$

$$V_i = N_{i,d} / (N_{i,r} - N_{i,c}) \quad (i = 1, 2, 3, \dots) \quad (f)$$

$$\phi_s = -2 N_{1,d} t_e \quad (g)$$

ただし、 $t_e$  はラジアル型屈折率分布レンズの厚さである。

【0025】式 (d) より明らかなように、媒質で発生する色収差を表わす PAC において第 2 項の分母の  $V_i$  50

\* の屈折率分布を 2 乗式で近似すると下記の式 (a) にて表わされる。

$$n_i(r) = \sum_{j=0}^2 N_{i,j} r^j \quad (a)$$

【0016】

※ 【0017】図 4 1 は、屈折率分布の一例を示す図で、縦軸は屈折率、横軸は光軸からの距離で、曲線 d、F、C、g は夫々 r に対する d 線、F 線、C 線、g 線の屈折率

★ スペクトルを良好に補正することが困難になる。そのため、2 次スペクトルの補正のためには、各波長毎の屈折率分布が極端に異ならなければならない必要がある。つまり前記条件 (1) を満足する必要がある。

【0020】前記式 (c) に示すように  $\theta_{i,r}(r)$  は、F 線と C 線の屈折率差である主分散に対する g 線の屈折率の度合いを示すもので、この  $\theta_{i,r}(r)$  の値が光軸上と周辺部とで大きく異ならなければならないようにすれば、g 線の屈折率分布の傾きのみが他の波長に対し極端に異なることはなく、2 次スペクトルを良好に補正することが出来る。そのために設けたのが条件 (1) である。

【0021】もし条件 (1) を満足しないと 2 次スペクトルを良好に補正することが困難になる。また、実際の屈折率分布素材の作製上、通常は屈折率分布の傾きは、各波長毎に異なるが、条件 (1) を満足すれば、2 次スペクトルを良好に補正することが可能になる。このように、この条件 (1) は、2 次スペクトルを補正するための必要条件であり、この条件を満足するラジアル型屈折率分布レンズは、レンズ単体あるいは光学系中に適用して色収差を良好に補正することが出来る。

【0022】また、1 次の軸上色収差つまり d 線、C 線、F 線の色収差 PAC は、下記式 (d) にて表わされる。

【0023】

☆ 肉の面の屈折力、 $\phi_s$  は d 線におけるラジアル型屈折率分布レンズの媒質の屈折力であり、式 (g) にて近似される。

【0024】

の値を適当に選ぶことにより、発生する収差を所望の値にすることが出来る。

【0026】ここで 1 次スペクトルつまり d 線、C 線、F 線の 3 波長の色収差を補正するための条件を考える

と、ラジアル型屈折率分布レンズが下記条件 (2) を満足することが望ましい。

【0027】 (2)  $-0.5 < 1/V_1 < 0.5$

この条件 (2) を満足すると 1 次の色収差を良好に補正することが可能である。もし、条件 (2) の上限の 0.

5 を超えると収差が補正不足になる。又条件 (2) の下\*

$$PAC(g) = K(\phi_s/V_0(g) + \phi_r/V_1(g)) \quad (d-1)$$

ただし、 $V_1(g)$  は 2 i 次の屈折率分布係数に対する g 線

を考慮した分数を表わす値で、 $V_0(g)$  は下記式 (e-

1) で与えられ、 $V_1(g)$  は下記式 (f-1) の  $i=1$  の※10

$$V_0(g) = (N_{0,d} - 1) / (N_{0,s} - N_{0,r}) \quad (e-1)$$

$$V_1(g) = N_{1,d} / (N_{1,s} - N_{1,r}) \quad (f-1)$$

ここで、式 (d-1) より、d 線、F 線、g 線の 3 波長の色収差を補正するためには、下記条件 (3) を満足することが望ましい。

【0031】 (3)  $-0.5 < 1/V_1(g) < 0.5$

この条件 (3) を満足すれば d 線、F 線、g 線の 3 波長の色収差を良好に補正することが可能である。もし、条件 (3) の上限の 0.5 を超えると色収差が補正不足になり、下限の -0.5 を超えると色収差が補正過剰になる。

【0032】 また前述のように各波長毎の屈折率分布の傾きが同じであれば、媒質で発生する色収差はほぼ 0 になる。しかし実際の屈折率分布素材の作製上、屈折率分布の傾きは、各波長毎に異なり、つまり 2 i 次の分布係数の値は異なりこれを一致させることは困難である。しかし、前記条件 (2) を満足すれば、d 線、C 線、F 線の 3 波長の色収差の補正が可能であり、又条件 (3) を★

$$\phi/v_{r,c} = \phi_s/V_0 + \phi_r/V_1 \quad (h-1)$$

$$\phi/v_{r,f} = \phi_s/V_0(g) + \phi_r/V_1(g) \quad (h-2)$$

ただし、 $v_{r,c}$ 、 $v_{r,f}$  は、仮想ガラスの分散特性を表わす式 (i-1)、(i-2) で与えられる。また  $\phi = \star$

$$v_{r,c} = (n_{r,d} - 1) / (n_{r,s} - n_{r,f}) \quad (i-1)$$

$$v_{r,f} = (n_{r,d} - 1) / (n_{r,s} - n_{r,f}) \quad (i-2)$$

ただし、 $n_{r,d}$ 、 $n_{r,c}$ 、 $n_{r,f}$ 、 $n_{r,s}$  は、夫々仮想ガラスの d 線、C 線、F 線、g 線における仮想屈折率である。

【0038】 上記式 (h-1)、(h-2) より仮想ガ◆

$$v_{r,c} = V_0 \cdot V_1 / [(V_0 - V_1) a + V_1] \quad (j-1)$$

$$v_{r,f} = V_0(g) \cdot V_1(g) / [(V_0(g) - V_1(g)) a + V_1(g)] \quad (j-2)$$

ただし、a は媒質の屈折力比を表し、下記式 (k) にて表わされる。

【0039】

$$a = \phi_s / (\phi_s + \phi_r) \quad (k)$$

上記式 (j-1)、(j-2) より、仮想ガラスの分散特性は、ラジアル型屈折率分布レンズの面と媒質の屈折力が考慮される。

【0040】 まず、上記式 (j-1) より、ラジアル型屈折率分布レンズにより d 線、C 線、F 線の 3 波長を良好に補正するためには、下記条件 (4) を満足することが望ましい。

\* 限の -0.5 を超えると色収差が補正過剰になる。

【0028】 次に d 線、g 線、F 線の 3 波長の色収差 PAC(g) を補正することを考える。この色収差 PAC(g) を下記のように表わすことにする。

【0029】

【0030】

★満足すれば、d 線、F 線、g 線の 3 波長の色収差を補正することが可能になる。そのため、条件 (2) と条件 (3) を満足すれば、d 線、C 線、F 線、g 線の 4 波長の色収差を良好に補正することが可能になる。

【0033】 また、色収差を良好に補正するためには、式 (d) および式 (d-1) より明らかなように、ラジアル型屈折率分布レンズの面と媒質の屈折力を考慮する必要がある。

【0034】 ここでラジアル型屈折率分布レンズと色収差が等しくなるような分散特性を持つ仮想ガラスを想定する。

【0035】 仮想ガラスとラジアル型屈折率分布レンズとは、下記式 (h-1)、(h-2) を満足するものとする。

【0036】

☆  $\phi_s + \phi_r$  である。

【0037】

◆ラスの分散特性  $v_{r,c}$  および  $v_{r,f}$  を算出すると下記の式 (j-1)、(j-2) が得られる。

【0041】 (4)  $-1 < 1/v_{r,c} < 1$

この条件 (4) を満足すれば、d 線、C 線、F 線の 3 波長の色収差を良好に補正することが可能である。もし条件 (4) の下限値の -1 を超えると色収差が補正過剰になる。また上限値の 1 を超えると色収差が補正不足になる。

【0042】 同様に、式 (j-2) より、ラジアル型屈折率分布レンズにおいて d 線、F 線、g 線の 3 波長を良好に補正するためには下記条件 (5) を満足することが望ましい。

【0043】 (5)  $-1 < 1/v_{r,f} < 1$

この条件(5)を満足すれば、d線、F線、g線の3波長の色収差を良好に補正することが出来る。もし、条件(5)の下限値の-1を超えると色収差が補正過剰になり、又上限値の1を超えると色収差が補正不足になる。

【0044】また、条件(4)と条件(5)とを同時に満足すれば、d線、C線、F線、g線の4波長の色収差を良好に補正することが出来る。

【0045】また、g線よりも更に短い波長域での色収差を補正する必要がある場合には、g線の係数の代りに収差補正上必要とされる最も短い波長の係数を用いて、これを本発明の前記の条件にあてはめればよく、これにより必要とする波長域での色収差を補正することが出来る。又このことは、C線よりもさらに長い波長域での色収差の補正を行なう場合においても同様の手段を用いることが可能である。

【0046】上記のように、d線、C線、F線、g線の4波長の色収差を補正するためには、条件(1)を満足することが望ましいが、この条件(1)の代りに下記条件(1-1)を満足すれば一層望ましい。

【0047】(1-1)  $\Delta\theta_{r1} < 0.2$

また、d線、C線、F線の3波長の色収差を良好に補正するためには、前記のように条件(2)を満足することが望ましいが、条件(2)の代りに条件(2-1)を満足すれば一層望ましい。

【0048】

(2-1)  $-0.15 < 1/V_1 < 0.06$

更に、より高精細な画像が要求される場合には、条件(2)や(2-1)の代りに下記条件(2-2)を満足することが望ましい。

【0049】

(2-2)  $-0.1 < 1/V_1 < 0.05$

また、前記のように、d線、F線、g線、の3波長の色収差を補正するためには条件(3)を満足することが好ましいが、この条件(3)の代りに下記条件(3-1)を満足すれば更に望ましい。

【0050】

(3-1)  $-0.1 < 1/V_1(g) < 0.05$

また高精細な画像が要求される場合には、条件(3)又は(3-1)の代りに下記条件(3-2)を満足することが望ましい。

【0051】

(3-2)  $-0.06 < 1/V_1(g) < 0.045$

また、d線、C線、F線の色収差を補正するための条件である条件(4)の代りに下記条件(4-1)を満足すれば一層好ましい。

【0052】

(4-1)  $-0.5 < 1/v_{rc} < 0.5$

焦点距離  $f=200$  , Fナンバー=2.8

$r_1 = \infty$  (絞り)  $d_1 = 1.0000$

$r_2 = -539.3855$   $d_2 = 30.6000$   $n_1$  (屈折率分布レンズ)

\* また、より高精細な画像が要求される場合には、条件(4)又は(4-1)の代りに下記条件(4-2)を満足することが望ましい。

【0053】

(4-2)  $-0.1 < 1/v_{rc} < 0.1$

またd線、F線、g線の3波長の色収差を良好に補正するための条件(5)の代りに下記条件(5-1)を満足すれば、前記3波長の色収差の補正によって一層好ましい。

【0054】

(5-1)  $-0.5 < 1/v_{rc} < 0.5$

また、より高精細な画像が要求される場合には、条件(5)又は(5-1)の代りに下記条件(5-2)を満足することが望ましい。

【0055】

(5-2)  $-0.1 < 1/v_{rc} < 0.1$

本発明の光学系を、単焦点のレンズ系に適用する場合には、まず色収差の補正にとって必要である条件(1)を満足することが望ましい。又本発明の光学系を単焦点の光学系に比較して色収差の補正の難しいズーム光学系中にラジアル型屈折率分布レンズを用いて色収差を補正するためには、条件(1)および条件(2)あるいは条件(2)および条件(3)を満足することが望ましい。

【0056】また、上述の各種条件を満足するラジアル型屈折率分布レンズを単体で用いることも可能であり、複数の光学素子からなる光学系中に用いることも可能である。

【0057】またコストを重要視する場合には、光学系中にはラジアル型屈折率分布レンズを1枚のみ用いることが望ましい。

【0058】また、本発明の光学系は、銀塩カメラ、ビデオカメラ、内視鏡、撮像装置、顕微鏡、像伝送光学系、測定器、テレビ電話、情報入力機器等の光学系として用いることが出来る。

【0059】また、本発明の光学系で用いるラジアル型屈折率分布レンズは、その屈折率分布素材が持つ媒質の屈折率変化を式(a)にて示す二乗式で近似しているが、式(a)以外の式で表わされる屈折率分布素材の場合も、これを式(a)で近似して本発明の光学系に適用することが可能である。

【0060】また、本発明は特許請求の範囲の各請求項に記載されたものに限定されず、実質的に各請求項に記載された構成を満足していればよい。

【0061】

【発明の実施の形態】次に本発明の光学系の実施の形態を下記各実施例をもとに説明する。

実施例1

$$r_1 = -435.1991 \quad d_1 = 196.1227$$

$$r_4 = \infty \text{ (像)}$$

屈折率分布レンズ

	WL	$N_0$	$N_1$	$N_2$
d 線	587.56,	1.70000,	$-7.8900 \times 10^{-5}$ ,	$5.4463 \times 10^{-10}$
C 線	656.27,	1.69533,	$-7.8922 \times 10^{-5}$ ,	$5.4521 \times 10^{-10}$
F 線	486.13,	1.71089,	$-7.8845 \times 10^{-5}$ ,	$5.4647 \times 10^{-10}$
g 線	435.84,	1.71972,	$-7.8796 \times 10^{-5}$ ,	$5.4187 \times 10^{-10}$

$$\Delta \theta_{sf} = 1.7 \times 10^{-4}, \quad 1/V_1 = -1.0 \times 10^{-3}, \quad 1/V_1(g) = -6.0 \times 10^{-4}$$

$$\nu_{sf} = 5.0 \times 10^{-4}, \quad \nu_{sf} = 2.0 \times 10^{-4}, \quad \text{有効径 } e = 36.86, \quad \Delta_{sf} = 0.106$$

$$\sum_{i=1}^n N_{i,s} e^{z_i} = 1.0 \times 10^{-8}$$

【0062】実施例 2

$$f = 200, \quad F \text{ ナンバー} = 5.6$$

$$r_1 = \infty \text{ (絞り)} \quad d_1 = 30.0000 \quad n_1 \text{ (屈折率分布レンズ)}$$

$$r_2 = \infty \quad d_2 = 191.2873$$

$$r_3 = \infty \text{ (像)}$$

屈折率分布レンズ

	WL	$N_0$	$N_1$	$N_2$
d 線	587.56,	1.70000,	$-8.4514 \times 10^{-5}$ ,	$6.5243 \times 10^{-10}$
C 線	656.27,	1.69533,	$-8.4509 \times 10^{-5}$ ,	$6.5605 \times 10^{-10}$
F 線	486.13,	1.71089,	$-8.4534 \times 10^{-5}$ ,	$6.5624 \times 10^{-10}$
g 線	435.84,	1.71972,	$-8.4542 \times 10^{-5}$ ,	$6.4780 \times 10^{-10}$

$$\Delta \theta_{sf} = 7.0 \times 10^{-5}, \quad 1/V_1 = 3.0 \times 10^{-4}, \quad 1/V_1(g) = 1.0 \times 10^{-4}$$

$$\nu_{sf} = 3.0 \times 10^{-4}, \quad \nu_{sf} = 1.0 \times 10^{-4}, \quad \text{有効径 } e = 18.78, \quad \Delta_{sf} = 0.03$$

$$\sum_{i=1}^n N_{i,s} e^{z_i} = 8.1 \times 10^{-5}$$

【0063】実施例 3

$$f = 200, \quad F \text{ ナンバー} = 3.5, \quad 2\omega = 12.3^\circ$$

$$r_1 = 92.1037 \quad d_1 = 23.8235 \quad n_1 \text{ (屈折率分布レンズ)}$$

$$r_2 = 74.8597 \quad d_2 = 5.1710$$

$$r_3 = 45.9880 \quad d_3 = 15.6257 \quad n_3 = 1.83400 \quad \nu_3 = 37.17$$

$$r_4 = 36.5604 \quad d_4 = 18.9259$$

$$r_5 = \infty \text{ (絞り)} \quad d_5 = 0.6255$$

$$r_6 = 218.9472 \quad d_6 = 7.4011 \quad n_6 = 1.60342 \quad \nu_6 = 38.01$$

$$r_7 = -725.0040 \quad d_7 = 124.6556$$

$$r_8 = \infty \text{ (像)}$$

屈折率分布レンズ

	WL	$N_0$	$N_1$	$N_2$
d 線	587.56,	1.65000,	$-8.0403 \times 10^{-5}$ ,	$-1.5195 \times 10^{-9}$
C 線	656.27,	1.64512,	$-8.0826 \times 10^{-5}$ ,	$-1.5479 \times 10^{-9}$
F 線	486.13,	1.66138,	$-7.9385 \times 10^{-5}$ ,	$-1.4948 \times 10^{-9}$
g 線	435.84,	1.67083,	$-7.8549 \times 10^{-5}$ ,	$-1.4037 \times 10^{-9}$

$$\Delta \theta_{sf} = 4.3 \times 10^{-3}, \quad 1/V_1 = -1.7 \times 10^{-3}, \quad 1/V_1(g) = -1.0 \times 10^{-3}$$

$$\nu_{sf} = -4.9 \times 10^{-3}, \quad \nu_{sf} = -2.8 \times 10^{-3}, \quad \text{有効径 } e = 33.56, \quad \Delta_{sf} = 0.092$$

$$\sum_{i=1}^n N_{i,s} e^{z_i} = -1.9 \times 10^{-8}$$

【0064】実施例 4

$$f = 0.77, \quad F \text{ ナンバー} = 4.7, \quad 2\omega = 113.3^\circ, \quad \text{物体距離 } 9 \text{ mm}$$

$$r_1 = \infty \quad d_1 = 0.3200 \quad n_1 = 1.51633 \quad \nu_1 = 64.15$$

$$r_2 = 0.4025 \quad d_2 = 0.2229$$

$$r_3 = \infty \quad d_3 = 0.6556 \quad n_3 = 1.84666 \quad \nu_3 = 23.78$$

$$r_4 = -0.9538 \quad d_4 = 0.1280$$



11

12

$r_5 = \infty$ (絞り)	$d_5 = 0.6316$		
$r_6 = 2.1852$	$d_6 = 0.8955$	$n_1$ (屈折率分布レンズ)	
$r_7 = -3.2816$	$d_7 = 0.3800$		
$r_8 = \infty$	$d_8 = 0.7500$	$n_4 = 1.53172$	$\nu_4 = 48.91$
$r_9 = \infty$	$d_9 = 0.0048$		

 $r_{10} = \infty$  (像)

屈折率分布レンズ

WL	$N_0$	$N_1$	$N_2$	$n_3$
d線	587.56, 1.65000	$-1.5405 \times 10^{-1}$	$1.5784 \times 10^{-1}$	$2.9179 \times 10^{-2}$
C線	656.27, 1.64512	$-1.5400 \times 10^{-1}$	$1.5784 \times 10^{-1}$	$2.9179 \times 10^{-2}$
F線	486.13, 1.66138	$-1.5418 \times 10^{-1}$	$1.5784 \times 10^{-1}$	$2.9179 \times 10^{-2}$
g線	435.84, 1.67088	$-1.5430 \times 10^{-1}$	$1.5784 \times 10^{-1}$	$2.9179 \times 10^{-2}$
$\Delta \theta_{sf} = 4.0 \times 10^{-4}$ , $1/V_1 = 1.2 \times 10^{-3}$ , $1/V_1(g) = 8.0 \times 10^{-4}$				
$\nu_{fc} = 1.7 \times 10^{-2}$ , $\nu_{sf} = 9.6 \times 10^{-3}$ , $1/\nu_s = 4.2 \times 10^{-3}$				
有効径 $e = 0.66$ , $\Delta_s = 0.035$				

$$\sum_{i=1}^n N_{i0} e^{z_i} = 3.2 \times 10^{-2}$$

【0065】実施例5

 $f = 0.59$ , Fナンバー=3.4,  $2\omega = 113.2^\circ$ , 物体距離 9 mm

$r_1 = \infty$	$d_1 = 0.3200$	$n_1 = 1.48749$	$\nu_1 = 70.21$
$r_2 = 0.7618$	$d_2 = 0.3792$		
$r_3 = \infty$ (絞り)	$d_3 = 0.0300$		
$r_4 = \infty$	$d_4 = 0.8916$	$n_2$ (屈折率分布レンズ)	
$r_5 = -0.6460$	$d_5 = 0.3569$		
$r_6 = \infty$	$d_6 = 0.7600$	$n_3 = 1.51633$	$\nu_3 = 64.15$
$r_7 = \infty$	$d_7 = -0.0075$		
$r_8 = \infty$ (像)			

屈折率分布レンズ

WL	$N_0$	$N_1$	$N_2$	$N_3$
d線	587.56, 1.69680	$-3.5000 \times 10^{-1}$	$3.5660 \times 10^{-1}$	1.4540
C線	656.27, 1.69297	$-3.5583 \times 10^{-1}$	$3.6254 \times 10^{-1}$	1.4782
F線	486.13, 1.70552	$-3.3639 \times 10^{-1}$	$3.4273 \times 10^{-1}$	1.3975
g線	435.84, 1.71234	$-3.4033 \times 10^{-1}$	$7.9916 \times 10^{-1}$	-1.3650
$\Delta \theta_{sf} = 1.8 \times 10^{-1}$ , $1/V_1 = -5.6 \times 10^{-3}$ , $1/V_1(g) = 1.1 \times 10^{-3}$				
$\nu_{fc} = -8.9 \times 10^{-2}$ , $\nu_{sf} = 1.0 \times 10^{-2}$ , 有効径 $e = 0.42$ , $\Delta_s = 0.042$				

$$\sum_{i=1}^n N_{i0} e^{z_i} = 1.9 \times 10^{-2}$$

【0066】実施例6

倍率=1, NA=0.073, 像高=0.98, 物体距離 4.9 mm

$r_1 = 10.2360$	$d_1 = 21.3300$	$n_1 = 1.62004$	$\nu_1 = 36.26$
$r_2 = \infty$	$d_2 = 3.2080$	$n_2$ (屈折率分布レンズ)	
$r_3 = \infty$	$d_3 = 1.6240$		
$r_4 = \infty$	$d_4 = 3.2080$	$n_3$ (屈折率分布レンズ)	
$r_5 = \infty$	$d_5 = 21.3300$	$n_4 = 1.62004$	$\nu_4 = 36.26$
$r_6 = -10.2360$	$d_6 = 4.8999$		
$r_7 = \infty$ (像)			

屈折率分布レンズ

WL	$N_0$	$N_1$
d線	587.56, 1.66400	$-7.5000 \times 10^{-3}$
C線	656.27, 1.65879	$-7.4966 \times 10^{-3}$
F線	486.13, 1.67617	$-7.5080 \times 10^{-3}$
g線	435.84, 1.68636	$-7.4906 \times 10^{-3}$

13

14

$$\Delta \theta_{ef} = 1.5 \times 10^{-3}, \quad 1/V_1 = 1.5 \times 10^{-3}, \quad 1/V_1(g) = -2.3 \times 10^{-3}$$

$$\nu_{efc} = 1.5 \times 10^{-3}, \quad \nu_{eff} = -2.3 \times 10^{-3}, \quad \text{有効径 } e = 1.32, \quad \Delta_{ef} = 0.013$$

$$\sum_{i=1}^n N_{i,d} e^{2i} = 0$$

【0067】実施例7

$$f = 4.83 \sim 8.29 \sim 14.38, \quad F\text{ナンバー} = 2.8 \sim 3.0 \sim 3.9$$

$$2\omega = 70.2^\circ \sim 42.5^\circ \sim 24.8^\circ$$

$$r_1 = 26.2532 \quad d_1 = 2.6000 \quad n_1 = 1.77250 \quad \nu_1 = 49.60$$

$$r_2 = 76.0387 \quad d_2 = D_1 \quad (\text{可変})$$

$$r_3 = 10.9651 \quad d_3 = 1.0000 \quad n_3 = 1.84666 \quad \nu_3 = 23.78$$

$$r_4 = 5.1833 \quad d_4 = 4.2692$$

$$r_5 = -18.5991 \quad d_5 = 1.0000 \quad n_5 = 1.48749 \quad \nu_5 = 70.21$$

$$r_6 = 6.0022 \quad d_6 = 2.4000 \quad n_6 = 1.84666 \quad \nu_6 = 23.78$$

$$r_7 = 13.6560 \quad d_7 = D_2 \quad (\text{可変})$$

$$r_8 = \infty \quad (\text{絞り}) \quad d_8 = D_3 \quad (\text{可変})$$

$$r_9 = 23.3185 \quad d_9 = 15.9260 \quad n_9 \quad (\text{屈折率分布レンズ})$$

$$r_{10} = -20.2536 \quad d_{10} = D_4 \quad (\text{可変})$$

$$r_{11} = \infty \quad d_{11} = 4.2200 \quad n_{11} = 1.61700 \quad \nu_{11} = 62.80$$

$$r_{12} = \infty \quad d_{12} = 1.0000$$

$$r_{13} = \infty \quad d_{13} = 0.8000 \quad n_{13} = 1.51633 \quad \nu_{13} = 64.15$$

$$r_{14} = \infty \quad d_{14} = 1.1931$$

$$r_{15} = \infty \quad (\text{像})$$

$$f \quad 4.83 \quad 8.29 \quad 14.38$$

$$D_1 \quad 1.00000 \quad 7.38243 \quad 10.82331$$

$$D_2 \quad 11.82334 \quad 5.44086 \quad 2.0000$$

$$D_3 \quad 6.39368 \quad 4.48772 \quad 1.00000$$

$$D_4 \quad 4.93186 \quad 6.83784 \quad 10.32555$$

屈折率分布レンズ

$$WL \quad N_0 \quad N_1 \quad N_2$$

$$d \text{ 線 } 587.56, 1.75000, -1.5595 \times 10^{-3}, 3.3947 \times 10^{-3}$$

$$C \text{ 線 } 656.27, 1.74550, -1.5698 \times 10^{-3}, 3.3930 \times 10^{-3}$$

$$F \text{ 線 } 486.13, 1.76050, -1.5356 \times 10^{-3}, 3.3963 \times 10^{-3}$$

$$g \text{ 線 } 435.84, 1.76876, -1.5112 \times 10^{-3}, 3.1693 \times 10^{-3}$$

$$\Delta \theta_{ef} = 1.8 \times 10^{-3}, \quad 1/V_1 = -2.2 \times 10^{-3}, \quad 1/V_1(g) = -1.6 \times 10^{-3}$$

$$\nu_{efc} = 2.5 \times 10^{-3}, \quad \nu_{eff} = -1.0 \times 10^{-3}, \quad \text{有効径 } e = 4.73, \quad \Delta_{ef} = 0.033$$

$$\sum_{i=1}^n N_{i,d} e^{2i} = 1.7 \times 10^{-8}$$

【0068】実施例8

$$f = 0.65, \quad F\text{ナンバー} = 4.25, \quad 2\omega = 113^\circ, \quad \text{物体距離 } 9\text{mm}$$

$$r_1 = \infty \quad d_1 = 0.3200 \quad n_1 = 1.51633 \quad \nu_1 = 64.15$$

$$r_2 = 0.4397 \quad d_2 = 0.1672$$

$$r_3 = \infty \quad d_3 = 0.7894 \quad n_3 \quad (\text{屈折率分布レンズ})$$

$$r_4 = \infty \quad (\text{絞り}) \quad d_4 = 0.2910$$

$$r_5 = 2.1800 \quad d_5 = 0.5912 \quad n_5 = 1.88300 \quad \nu_5 = 40.78$$

$$r_6 = -1.2158 \quad d_6 = 0.3800$$

$$r_7 = \infty \quad d_7 = 0.7500 \quad n_7 = 1.53172 \quad \nu_7 = 48.91$$

$$r_8 = \infty \quad d_8 = 0.0060$$

$$r_9 = \infty \quad (\text{像})$$

屈折率分布レンズ

$$WL \quad N_0 \quad N_1 \quad N_2 \quad N_3$$

$$d \text{ 線 } 587.56, 1.65200, -5.4253 \times 10^{-3}, 6.6408 \times 10^{-3}, 1.0097$$

$$C \text{ 線 } 656.27, 1.64616, -5.3145 \times 10^{-3}, 6.5052 \times 10^{-3}, 9.8907 \times 10^{-3}$$

F線 486.13, 1.66562,  $-5.6836 \times 10^{-1}$ ,  $6.9570 \times 10^{-1}$ , 1.0578

g線 435.84, 1.67733,  $-5.9247 \times 10^{-1}$ ,  $7.2632 \times 10^{-1}$ , 1.1002

$\Delta\theta_{sf} = 1.1 \times 10^{-2}$ ,  $1/V_1 = 6.8 \times 10^{-2}$ ,  $1/V_1(g) = 4.4 \times 10^{-2}$

$\nu_{fc} = 6.8 \times 10^{-1}$ ,  $\nu_{sf} = 4.4 \times 10^{-1}$ , 有効径  $e = 0.33$ ,  $\Delta_{sf} = 0.05$

$$\sum_{i=1}^n N_{i,s} e^{s_i} = 2.7 \times 10^{-3}$$

【0069】実施例9

$f = 2.74$ , Fナンバー=2.8,  $2\omega = 68.1^\circ$

$r_1 = 3.0226$   $d_1 = 1.7507$   $n_1$  (屈折率分布レンズ)

$r_2 = 1.4700$   $d_2 = 1.6154$

$r_3 = \infty$  (絞り)  $d_3 = 1.1572$

$r_4 = 3.7806$   $d_4 = 2.4588$   $n_4 = 1.69680$   $\nu_4 = 55.53$

$r_5 = -2.2830$  (非球面)  $d_5 = 0.7143$

$r_6 = \infty$   $d_6 = 0.7500$   $n_6 = 1.48749$   $\nu_6 = 70.21$

$r_7 = \infty$   $d_7 = 1.1839$

$r_8 = \infty$  (像)

非球面係数

$K = 0$ ,  $A_4 = 3.1652 \times 10^{-2}$ ,  $A_5 = 5.4023 \times 10^{-3}$ ,  $A_6 = 5.2354 \times 10^{-4}$

屈折率分布レンズ

WL  $N_0$   $N_1$   $N_2$

d線 587.56, 1.60000,  $-8.0063 \times 10^{-3}$ ,  $-2.4555 \times 10^{-3}$

C線 656.27, 1.59400,  $-7.7381 \times 10^{-3}$ ,  $-2.3621 \times 10^{-3}$

F線 486.13, 1.61400,  $-8.5860 \times 10^{-3}$ ,  $-2.6962 \times 10^{-3}$

g線 435.84, 1.62646,  $-8.8951 \times 10^{-3}$ ,  $-2.9391 \times 10^{-3}$

$\Delta\theta_{sf} = 2.9 \times 10^{-2}$ ,  $1/V_1 = 1.1 \times 10^{-1}$ ,  $1/V_1(g) = 3.9 \times 10^{-2}$

$\nu_{fc} = 2.2 \times 10^{-2}$ ,  $\nu_{sf} = 1.8 \times 10^{-2}$ , 有効径  $e = 2.22$ ,  $\Delta_{sf} = 0.99$

$$\sum_{i=1}^n N_{i,s} e^{s_i} = -6.0 \times 10^{-2}$$

【0070】実施例10

$f = 3.5$ , Fナンバー=2.8,  $2\omega = 53.5^\circ$

$r_1 = \infty$   $d_1 = 0.9995$   $n_1$  (屈折率分布レンズ)

$r_2 = \infty$   $d_2 = 2.4180$

$r_3 = \infty$  (絞り)  $d_3 = 1.9120$

$r_4 = 5.7262$  (非球面)  $d_4 = 2.1687$   $n_4 = 1.49241$   $\nu_4 = 57.66$

$r_5 = -2.0588$  (非球面)  $d_5 = 1.1430$

$r_6 = \infty$   $d_6 = 0.7500$   $n_6 = 1.48749$   $\nu_6 = 70.21$

$r_7 = \infty$   $d_7 = 1.1699$

$r_8 = \infty$  (像)

非球面係数

(第4面)  $K = 0$ ,  $A_4 = -4.0591 \times 10^{-2}$ ,  $A_5 = 1.7649 \times 10^{-3}$

$A_6 = -2.9442 \times 10^{-3}$

(第5面)  $K = 0$ ,  $A_4 = 1.2889 \times 10^{-2}$ ,  $A_5 = -3.2348 \times 10^{-3}$

$A_6 = 2.0091 \times 10^{-3}$

屈折率分布レンズ

WL  $N_0$   $N_1$   $N_2$

d線 587.56, 1.60000,  $-6.1989 \times 10^{-3}$ ,  $-1.0393 \times 10^{-3}$

C線 656.27, 1.59400,  $-5.9922 \times 10^{-3}$ ,  $-1.0046 \times 10^{-3}$

F線 486.13, 1.61400,  $-6.6810 \times 10^{-3}$ ,  $-1.1201 \times 10^{-3}$

g線 435.84, 1.62646,  $-7.1807 \times 10^{-3}$ ,  $-1.2024 \times 10^{-3}$

$\Delta\theta_{sf} = 2.6 \times 10^{-2}$ ,  $1/V_1 = 1.1 \times 10^{-1}$ ,  $1/V_1(g) = 8.1 \times 10^{-2}$

$\nu_{fc} = 1.1 \times 10^{-1}$ ,  $\nu_{sf} = 8.1 \times 10^{-2}$ , 有効径  $e = 1.98$ ,  $\Delta_{sf} = 0.04$

$$\sum_{i=1}^n N_{i,d} e^{z_i} = -1.6 \times 10^{-2}$$

【0071】実施例11

$f=0.96$ , Fナンバー=4.25,  $2\omega=112.9^\circ$ , 物体距離9mm

$r_1 = \infty$   $d_1 = 0.3000$   $n_1 = 1.51633$   $v_1 = 64.15$

$r_2 = \infty$   $d_2 = 0.1500$

$r_3 = -1.7433$   $d_3 = 2.3691$   $n_3$  (屈折率分布レンズ)

$r_4 = -0.9326$   $d_4 = 0.3800$

$r_5 = \infty$   $d_5 = 0.7500$   $n_5 = 1.53172$   $v_5 = 48.91$

$r_6 = \infty$   $d_6 = 0.0023$

$r_7 = \infty$  (像)

屈折率分布レンズ

	WL	$N_0$	$N_1$	$N_2$	$N_3$
d線	587.56,	1.57000,	$-1.8143 \times 10^{-1}$ ,	$9.8792 \times 10^{-2}$ ,	$-1.8066 \times 10^{-1}$
C線	656.27,	1.56715,	$-1.7983 \times 10^{-1}$ ,	$9.7920 \times 10^{-2}$ ,	$-1.7907 \times 10^{-1}$
F線	486.13,	1.57665,	$-1.8517 \times 10^{-1}$ ,	$1.0083 \times 10^{-1}$ ,	$-1.8438 \times 10^{-1}$
g線	435.84,	1.58176,	$-1.8795 \times 10^{-1}$ ,	$1.0115 \times 10^{-1}$ ,	$-1.8621 \times 10^{-1}$
	$\Delta\theta_{s,r}=1.0 \times 10^{-2}$ , $1/V_1=2.9 \times 10^{-2}$ , $1/V_1(g)=1.5 \times 10^{-2}$				
	$v_{s,r,c}=2.6 \times 10^{-2}$ , $v_{s,r}=1.4 \times 10^{-2}$ , 有効径 $e=0.65$ , $\Delta_{s,r}=0.06$				

$$\sum_{i=1}^n N_{i,d} e^{z_i} = 4.0 \times 10^{-3}$$

【0072】実施例12

倍率=10, NA=0.25, 動作距離WD=11.5, 像高IH=11mm

$r_1 = \infty$  (絞り)  $d_1 = 11.5000$

$r_2 = \infty$   $d_2 = 26.7629$   $n_2$  (屈折率分布レンズ1)

$r_3 = 31.5066$   $d_3 = 2.7789$

$r_4 = 17.9547$   $d_4 = 7.1016$   $n_4$  (屈折率分布レンズ2)

$r_5 = 13.6359$

屈折率分布レンズ1

	WL	$N_0$	$N_1$	$N_2$	$N_3$
d線	587.56,	1.65000,	$-1.5739 \times 10^{-3}$ ,	$4.9004 \times 10^{-6}$ ,	$-6.6825 \times 10^{-6}$
C線	656.27,	1.64512,	$-1.5542 \times 10^{-3}$ ,	$4.9004 \times 10^{-6}$ ,	$-6.6825 \times 10^{-6}$
F線	486.13,	1.66138,	$-1.6200 \times 10^{-3}$ ,	$4.9004 \times 10^{-6}$ ,	$-6.6825 \times 10^{-6}$
g線	435.84,	1.67083,	$-1.6604 \times 10^{-3}$ ,	$4.9004 \times 10^{-6}$ ,	$-6.6825 \times 10^{-6}$
	$\Delta\theta_{s,r}=6.0 \times 10^{-4}$ , $1/V_1=-4.1 \times 10^{-3}$ , $1/V_1(g)=-2.9 \times 10^{-3}$				
	$v_{s,r,c}=-1.8 \times 10^{-2}$ , $v_{s,r}=-1.1 \times 10^{-2}$ , 有効径 $e=4.9$ , $\Delta_{s,r}=0.028$				

$$\sum_{i=1}^n N_{i,d} e^{z_i} = -1.0 \times 10^{-4}$$

屈折率分布レンズ2

	WL	$N_0$	$N_1$	$N_2$	$N_3$
d線	587.56,	1.65000,	$-1.1724 \times 10^{-3}$ ,	$-2.5995 \times 10^{-7}$ ,	$3.5117 \times 10^{-6}$
C線	656.27,	1.64512,	$-1.1736 \times 10^{-3}$ ,	$-2.5985 \times 10^{-7}$ ,	$3.5187 \times 10^{-6}$
F線	486.13,	1.66138,	$-1.1688 \times 10^{-3}$ ,	$-2.6014 \times 10^{-7}$ ,	$3.4926 \times 10^{-6}$
g線	435.84,	1.67083,	$-1.1654 \times 10^{-3}$ ,	$-2.6050 \times 10^{-7}$ ,	$3.4704 \times 10^{-6}$
	$\Delta\theta_{s,r}=2.5 \times 10^{-3}$ , $1/V_1=4.2 \times 10^{-3}$ , $1/V_1(g)=2.6 \times 10^{-3}$				
	$v_{s,r,c}=6.0 \times 10^{-2}$ , $v_{s,r}=3.7 \times 10^{-3}$ , 有効径 $e=5.1$ , $\Delta_{s,r}=0.038$				

$$\sum_{i=1}^n N_{i,d} e^{z_i} = 3.2 \times 10^{-5}$$

【0073】実施例13

倍率=20, NA=0.4, 動作距離WD=2.92, 像高IH=11mm

$r_1 = \infty$  (絞り)  $d_1 = 2.9234$

$r_2 = -7.0050$   $d_2 = 14.0168$   $n_2$  (屈折率分布レンズ1)

$r_3 = -21.7010$   $d_3 = 21.7093$

19

20

$r_1 = 38.5480$        $d_1 = 4.5512$        $n_1$  (屈折率分布レンズ 2)  
 $r_5 = 17.2541$

屈折率分布レンズ 1

	WL	$N_0$	$N_1$	$N_2$
d 線	587.56,	1.65000,	$-4.8005 \times 10^{-3}$ ,	$-3.4095 \times 10^{-6}$
C 線	656.27,	1.64512,	$-4.7988 \times 10^{-3}$ ,	$-3.4509 \times 10^{-6}$
F 線	486.13,	1.66138,	$-4.8026 \times 10^{-3}$ ,	$-3.4578 \times 10^{-6}$
g 線	435.84,	1.67083,	$-4.8021 \times 10^{-3}$ ,	$-3.5223 \times 10^{-6}$
$\Delta \theta_{\text{eff}} = 1.9 \times 10^{-3}$ , $1/V_1 = 8.0 \times 10^{-4}$ , $1/V_1(g) = -1.0 \times 10^{-4}$				
$\nu_{\text{eff}} = -2.0 \times 10^{-2}$ , $\nu_{\text{eff}} = -1.3 \times 10^{-2}$ , 有効径 $e = 4.7$ , $\Delta_{\text{eff}} = 0.089$				

$$\sum_{i=1}^5 N_{i,0} e^{z_i} = -1.1 \times 10^{-8}$$

屈折率分布レンズ 2

	WL	$N_0$	$N_1$	$N_2$
d 線	587.56,	1.65000,	$-1.6941 \times 10^{-3}$ ,	$7.0683 \times 10^{-6}$
C 線	656.27,	1.64512,	$-1.6794 \times 10^{-3}$ ,	$7.1329 \times 10^{-6}$
F 線	486.13,	1.66138,	$-1.7326 \times 10^{-3}$ ,	$7.2042 \times 10^{-6}$
g 線	435.84,	1.67083,	$-1.7696 \times 10^{-3}$ ,	$7.3600 \times 10^{-6}$
$\Delta \theta_{\text{eff}} = 4.4 \times 10^{-3}$ , $1/V_1 = 3.1 \times 10^{-3}$ , $1/V_1(g) = 2.2 \times 10^{-3}$				
$\nu_{\text{eff}} = 6.7 \times 10^{-2}$ , $\nu_{\text{eff}} = -6.4 \times 10^{-2}$ , 有効径 $e = 3.99$ , $\Delta_{\text{eff}} = 0.025$				

$$\sum_{i=1}^5 N_{i,0} e^{z_i} = 1.8 \times 10^{-8}$$

【0074】実施例 14

倍率=40, NA=0.64, 動作距離WD=0.61, 像高IH=11mm

$r_1 = -3.2794$        $d_1 = 2.4788$        $n_1 = 1.49700$        $\nu_1 = 81.61$   
 $r_2 = -2.1531$        $d_2 = 0.0500$   
 $r_3 = -6.8320$        $d_3 = 18.1895$        $n_2$  (屈折率分布レンズ)  
 $r_4 = -14.6361$        $d_4 = 13.3407$   
 $r_5 = 12.8668$        $d_5 = 12.1630$        $n_3 = 1.88300$        $\nu_3 = 40.78$   
 $r_6 = 6.2581$

屈折率分布レンズ

	WL	$N_0$	$N_1$	$N_2$	$N_3$
d 線	587.56,	1.65000,	$-1.7589 \times 10^{-3}$ ,	$-2.7403 \times 10^{-6}$ ,	$-5.6429 \times 10^{-9}$
C 線	656.27,	1.64512,	$-1.7725 \times 10^{-3}$ ,	$-2.7968 \times 10^{-6}$ ,	$-5.7091 \times 10^{-9}$
F 線	486.13,	1.66138,	$-1.7270 \times 10^{-3}$ ,	$-2.6173 \times 10^{-6}$ ,	$-5.4950 \times 10^{-9}$
g 線	435.84,	1.67083,	$-1.7011 \times 10^{-3}$ ,	$-2.5096 \times 10^{-6}$ ,	$-4.6903 \times 10^{-9}$
$\Delta \theta_{\text{eff}} = 5.0 \times 10^{-4}$ , $1/V_1 = -2.6 \times 10^{-3}$ , $1/V_1(g) = -1.5 \times 10^{-3}$					
$\nu_{\text{eff}} = -2.2 \times 10^{-1}$ , $\nu_{\text{eff}} = -1.3 \times 10^{-1}$ , 有効径 $e = 6.06$ , $\Delta_{\text{eff}} = 0.069$					

$$\sum_{i=1}^5 N_{i,0} e^{z_i} = -4.0 \times 10^{-8}$$

【0075】実施例 15

倍率=4, NA=0.11, 動作距離WD=26, 像高IH=11mm

$r_1 = \infty$        $d_1 = 0.1700$        $n_1 = 1.52100$        $\nu_1 = 56.02$   
 $r_2 = \infty$        $d_2 = 26.0000$   
 $r_3 = 132.5540$        $d_3 = 6.7259$        $n_2$  (屈折率分布レンズ)  
 $r_4 = 22.4861$        $d_4 = 5.3177$   
 $r_5 = -62.2104$        $d_5 = 7.2321$        $n_3 = 1.43875$        $\nu_3 = 94.97$   
 $r_6 = -12.0698$

屈折率分布レンズ

	WL	$N_0$	$N_1$	$N_2$	$N_3$
d 線	587.56,	1.65000,	$-9.6284 \times 10^{-4}$ ,	$1.1792 \times 10^{-5}$ ,	$5.7019 \times 10^{-9}$
C 線	656.27,	1.64512,	$-9.6436 \times 10^{-4}$ ,	$1.1804 \times 10^{-5}$ ,	$5.7076 \times 10^{-9}$

21

22

F線 486.13, 1.66138,  $-9.5930 \times 10^{-4}$ ,  $1.1764 \times 10^{-5}$ ,  $5.6886 \times 10^{-9}$ g線 435.84, 1.67083,  $-9.5292 \times 10^{-4}$ ,  $1.1708 \times 10^{-5}$ ,  $5.6043 \times 10^{-9}$  $\Delta\theta_{\text{eff}} = 4.7 \times 10^{-3}$ ,  $1/V_1 = -5.3 \times 10^{-3}$ ,  $1/V_1(g) = -6.6 \times 10^{-3}$  $\nu_{\text{fc}} = 6.1 \times 10^{-3}$ ,  $\nu_{\text{eff}} = 3.9 \times 10^{-3}$ , 有効径  $e = 5.51$ ,  $\Delta_{\text{eff}} = 0.018$ 

$$\sum_{i=1}^N N_{i,4} e^{z_i} = 1.1 \times 10^{-2}$$

【0076】実施例16

 $f = 4.8$ , Fナンバー=2.8,  $2\omega = 46.4^\circ$  $r_1 = 6.9451$  (非球面)  $d_1 = 3.0000$   $n_1 = 1.52542$   $\nu_1 = 55.78$  $r_2 = \infty$  (反射面)  $d_2 = 2.5026$   $n_2 = 1.52542$   $\nu_2 = 55.78$  $r_3 = \infty$  (絞り)  $d_3 = 0.1000$  $r_4 = \infty$   $d_4 = 17.5594$   $n_4$  (屈折率分布レンズ) $r_5 = \infty$   $d_5 = 0.7500$   $n_5 = 1.48749$   $\nu_5 = 70.21$  $r_6 = \infty$   $d_6 = 1.1898$  $r_7 = \infty$  (像)

非球面係数

 $K = -1.5748$ ,  $A_4 = 1.5864 \times 10^{-3}$ ,  $A_6 = 1.3706 \times 10^{-5}$  $A_8 = -1.9519 \times 10^{-4}$ ,  $A_{10} = 3.3178 \times 10^{-6}$ 

屈折率分布レンズ

WL  $N_0$   $N_1$ d線 587.56, 1.66400,  $-7.5000 \times 10^{-3}$ C線 656.27, 1.65879,  $-7.4966 \times 10^{-3}$ F線 486.13, 1.67617,  $-7.5080 \times 10^{-3}$ g線 435.84, 1.68636,  $-7.4906 \times 10^{-3}$  $\Delta\theta_{\text{eff}} = 6.3 \times 10^{-3}$ ,  $1/V_1 = 1.5 \times 10^{-3}$ ,  $1/V_1(g) = -2.3 \times 10^{-3}$  $\nu_{\text{fc}} = 1.5 \times 10^{-3}$ ,  $\nu_{\text{eff}} = -2.3 \times 10^{-3}$ , 有効径  $e = 2.14$ ,  $\Delta_{\text{eff}} = 0.034$ 

$$\sum_{i=1}^N N_{i,4} e^{z_i} = 0$$

【0077】実施例17

 $f = 3.1$ , Fナンバー=2.8,  $2\omega = 65.4^\circ$  $r_1 = \infty$  (絞り)  $d_1 = 0.1000$  $r_2 = \infty$   $d_2 = 4.6740$   $n_2$  (屈折率分布レンズ) $r_3 = -3.7203$   $d_3 = 1.9817$  $r_4 = 7000.0000$   $d_4 = 0.0010$   $n_4 = 1.0 \times 10^3$   $\nu_4 = -3.45$  $r_5 = \infty$   $d_5 = 0.5000$   $n_5 = 1.45851$   $\nu_5 = 66.75$  $r_6 = \infty$   $d_6 = 0.7500$   $n_6 = 1.53172$   $\nu_6 = 48.91$  $r_7 = \infty$   $d_7 = 0.0032$  $r_8 = \infty$  (像)

回折光学素子の非球面項

(第4面)  $K = 0$ ,  $A_4 = -2.1097 \times 10^{-5}$ ,  $A_6 = 5.0147 \times 10^{-6}$  $A_8 = -3.0443 \times 10^{-7}$ ,  $A_{10} = -1.3365 \times 10^{-8}$ 

屈折率分布レンズ

WL  $N_0$   $N_1$   $N_2$   $N_3$ d線 587.56, 1.70000,  $-1.4314 \times 10^{-2}$ ,  $-7.4587 \times 10^{-4}$ ,  $3.4977 \times 10^{-4}$ C線 656.27, 1.69580,  $-1.4176 \times 10^{-2}$ ,  $-7.4587 \times 10^{-4}$ ,  $3.4977 \times 10^{-4}$ F線 486.13, 1.70980,  $-1.4636 \times 10^{-2}$ ,  $-7.4587 \times 10^{-4}$ ,  $3.4977 \times 10^{-4}$ g線 435.84, 1.71757,  $-1.4899 \times 10^{-2}$ ,  $-7.4587 \times 10^{-4}$ ,  $3.4977 \times 10^{-4}$  $\Delta\theta_{\text{eff}} = 3.0 \times 10^{-3}$ ,  $1/V_1 = 3.2 \times 10^{-3}$ ,  $1/V_1(g) = 1.8 \times 10^{-3}$  $\nu_{\text{fc}} = 2.5 \times 10^{-3}$ ,  $\nu_{\text{eff}} = 1.4 \times 10^{-3}$ , 有効径  $e = 1.86$ ,  $\Delta_{\text{eff}} = 0.044$ 

$$\sum_{i=1}^N N_{i,4} e^{z_i} = 5.6 \times 10^{-5}$$

【0078】実施例18

 $f = 3.4$ , Fナンバー=2.5,  $2\omega = 59.8^\circ$

23

24

$r_1 = 2.7792$	$d_1 = 1.9911$	$n_1$ (屈折率分布レンズ)	
$r_2 = 2.0705$	$d_2 = 1.8771$		
$r_3 = \infty$ (絞り)	$d_3 = 1.1110$		
$r_4 = 13.5558$	$d_4 = 2.8020$	$n_2 = 1.79952$	$\nu_2 = 42.24$
$r_5 = -2.3302$ (非球面)	$d_5 = 0.9255$		
$r_6 = \infty$	$d_6 = 0.7500$	$n_3 = 1.48749$	$\nu_3 = 70.21$
$r_7 = \infty$	$d_7 = 1.1676$		
$r_8 = \infty$ (像)			

非球面係数

$$K=0, A_4 = 1.6094 \times 10^{-2}, A_5 = -1.4276 \times 10^{-3}, A_6 = 6.3419 \times 10^{-4}$$

屈折率分布レンズ

WL	$N_0$	$N_1$	$N_2$
d 線	587.56, 1.50000	$2.9522 \times 10^{-3}$	$8.9433 \times 10^{-4}$
C 線	656.27, 1.49400	$3.0407 \times 10^{-3}$	$9.2116 \times 10^{-4}$
F 線	486.13, 1.51400	$2.7455 \times 10^{-3}$	$8.3172 \times 10^{-4}$
g 線	435.84, 1.52756	$2.4308 \times 10^{-3}$	$7.4093 \times 10^{-4}$
$\Delta \theta_{ef} = 1.3 \times 10^{-1}, 1/V_1 = -1.0 \times 10^{-1}, 1/V_1(g) = -1.1 \times 10^{-1}$			
$\nu_{efc} = 1.8 \times 10^{-2}, \nu_{efg} = 5.7 \times 10^{-2}, \text{有効径 } e = 2.48, \Delta_{ef} = 0.052$			

$$\sum_{i=1}^8 N_{i4} e^{z_i} = 3.4 \times 10^{-2}$$

【0079】実施例19

f = 3.4, F ナンバー = 2.8,  $2\omega = 60.4^\circ$ 

$r_1 = 3.9329$	$d_1 = 2.1359$	$n_1 = 1.58423$	$\nu_1 = 30.49$
$r_2 = 1.9115$	$d_2 = 0$	$n_2 = 1.0 \times 10^3$	$\nu_2 = -3.45$
$r_3 = 1.9114$	$d_3 = 1.5050$		
$r_4 = \infty$ (絞り)	$d_4 = 1.3716$		
$r_5 = 4.6967$	$d_5 = 3.3378$	$n_3 = 1.69680$	$\nu_3 = 55.53$
$r_6 = -2.9928$ (非球面)	$d_6 = 1.8296$		
$r_7 = \infty$	$d_7 = 0.7500$	$n_4 = 1.48749$	$\nu_4 = 70.21$
$r_8 = \infty$	$d_8 = 1.2084$		
$r_9 = \infty$ (像)			

回折光学素子の非球面項

$$(\text{第3面}) K=0, A_4 = 9.1010 \times 10^{-4}, A_5 = -6.4422 \times 10^{-4}$$

非球面係数

$$K=0, A_4 = 1.1402 \times 10^{-2}, A_5 = -9.8667 \times 10^{-5}, A_6 = 1.5019 \times 10^{-4}$$

ただし  $r_1, r_2, \dots$  はレンズ各面の曲率半径、 $d_1, d_2, \dots$  は各レンズの肉厚およびレンズ間隔、 $n_1, n_2, \dots$  は各レンズの屈折率、 $\nu_1, \nu_2, \dots$  は各レンズのアッペ数である。

【0080】上記実施例のうち、実施例1は図1に示す構成の光学系で、凹面を物体側にに向けた正の屈折力を持つメニスカス形状のラジアル型屈折率分布レンズ1枚よりなる光学系である。この実施例1の光学系は、画角が狭く焦点距離の長い光学系である。このような構成の光学系は、特に軸上色収差の補正が困難であるが、ラジアル型屈折率分布レンズを用いたことにより軸上色収差を良好に補正している。また、実施例1の光学系は、ラジアル型屈折率分布レンズが条件(1)を満足しており、これによって、d線、C線、F線、g線の4波長の色収差が良好に補正されている。また、この光学系は、ラジアル型屈折率分布レンズが正の屈折力を持っており、色

収差の良好に補正された単レンズである。

【0081】この正の屈折力を持つラジアル型屈折率分布レンズよりなる実施例1の光学系は、様々な光学系に適用可能である。例えば、この実施例1の光学系は、銀塩カメラやビデオカメラの光学系に適用することができる。又複数のレンズにて構成された光学系中に適用することも可能である。

【0082】この実施例1の光学系の収差状況は、図20に示す通りであって、レンズ枚数が1枚であるにもかかわらず軸上色収差が良好に補正されている。

【0083】実施例2は、図2に示す構成の光学系で両平面形状の正の屈折力を持つラジアル型屈折率分布レンズ1枚にて構成されている。この実施例2は、実施例1と同様に画角が狭く焦点距離の長い光学系である。このような光学系は、特に軸上色収差の補正が困難であるが、ラジアル型屈折率分布レンズを用いることにより、

軸上色収差を良好に補正している。また、ラジアル型屈折率分布レンズを両平面の形状にしたことにより、研磨が容易になり、偏心や加工コストの点で有利である。

【0084】この実施例2の光学系は、銀塩カメラやビデオカメラの光学系に適用することが可能である。また複数のレンズにて構成されている光学系中に適用することも可能である。

【0085】実施例2の収差状況は、図21に示す通りであってレンズ枚数が1枚であるにもかかわらず軸上色収差が良好に補正されている。

【0086】実施例3は、図3に示す構成で、物体側より順に正レンズ、負レンズ、正レンズの3枚のレンズにて構成されたトリプレットの光学系である。つまり物体側より順に、凹面を像側に向けたメニスカス形状のレンズの第1レンズと、凹面を像側に向けたメニスカス形状のレンズの第2レンズと、両凸形状のレンズの第3レンズにて構成されている。また、絞りは、第2レンズと第3レンズの間に設けられている。

【0087】この実施例3は、光学系中にラジアル型屈折率分布レンズを用いて、特に軸上色収差を良好に補正している。つまり最も物体側の第1レンズがラジアル型屈折率分布レンズである。

【0088】この実施例3は、画角の狭い望遠レンズであり、特に軸上色収差の補正の困難なレンズ系であるが、前記ラジアル型屈折率分布レンズを用いることにより軸上色収差を良好に補正している。

【0089】この実施例は、銀塩カメラ、ビデオカメラ等の光学系として用いることが可能である。

【0090】実施例3の収差状況は、図22に示す通りである。

【0091】実施例4は、図4に示す構成で、物体側より順に、負レンズ、正レンズ、正レンズの3枚構成のレトロフォーカスタイプの光学系である。又絞りは、正レンズと正レンズの間に配置されている。つまり実施例4は、物体側より順に平凹形状のレンズである第1レンズと、平凸形状であって主として倍率の色収差を補正する作用を持つ第2レンズと、絞りと、両凸形状で主として結像作用を有する第3レンズとにて構成されており、第3レンズがラジアル型屈折率分布レンズである。又最も像側の平行平板はカバーガラスである。

【0092】この実施例の光学系は、画角が広く、内視鏡対物レンズやビデオカメラ用レンズ等に用いられる。この実施例の光学系は、画角が広いので、特に倍率の色収差の補正が困難であるが、ラジアル型屈折率分布レンズを用いて、この倍率の色収差を良好に補正している。

【0093】この実施例4のような構成の光学系の場合、特に絞りより像側の正レンズ（第3レンズ）で発生するコマ収差の補正が困難であるが、実施例4ではこの正レンズをラジアル型屈折率分布レンズにして、このレンズに光軸から半径方向に行くにしたがって屈折率が小

さくなるような特性を持たせて面で発生するコマ収差を良好に補正している。つまりラジアル型屈折率分布レンズの媒質に正の屈折力を持たせてコマ収差を良好に補正している。又、ラジアル型屈折率分布レンズをこのような構成にすれば、コマ収差の補正に加えて歪曲収差の補正も可能になる。

【0094】また、ラジアル型屈折率分布レンズの媒質にてコマ収差を良好に補正するためには、下記の条件

(6) を満足することが望ましい。

10 【0095】

$$(6) \quad -0.1 < \sum_{i=1}^n N_{i,d} e^{*i} < 0.2$$

ただし  $e$  は最大有効径である。

【0096】もし、条件(6)の下限値の $-0.1$ を超えると、コマ収差が補正不足になり、上限値の $0.2$ を超えるとコマ収差が補正過剰になる。

【0097】又、コマ収差を一層良好に補正するためには、条件(6)の代りに下記条件(6-1)を満足することが望ましい。

20 【0098】

$$(6-1) \quad 0 < \sum_{i=1}^n N_{i,d} e^{*i} < 0.1$$

条件(6)と同様に、条件(6-1)の下限値の $0$ を超えるとコマ収差が補正不足になり又上限値の $0.1$ を超えるとコマ収差が補正過剰になる。

【0099】実施例4のように、比較的広角な光学系において、倍率の色収差を良好に補正するためには、絞りよりも物体側に、下記条件(7)を満足する正レンズを用いることが望ましい。

30 【0100】(7)  $0.022 < 1/\nu$

ただし、 $\nu$  は絞りよりも物体側の正レンズのアッベ数である。

【0101】もし条件(7)を満足しないと倍率の色収差が補正不足になる。尚、実施例4における第3レンズが上記正レンズである。

【0102】また、倍率の色収差を一層良好に補正するためには、条件(7)に代えて下記条件(7-1)を満足することが望ましい。

40 【0103】(7-1)  $0.028 < 1/\nu$

もし条件(7-1)を満足しないと倍率の色収差が補正不足になる。

【0104】また、より広角な光学系を達成するためには、前記条件(7)又は条件(7-1)の代りに下記条件(7-2)を満足することが望ましい。

【0105】(7-2)  $0.033 < 1/\nu$

また、最も物体側のレンズの物体側の面を平面にすれば、この面にゴミ等の異物が付着するのを防止する効果がある。

【0106】このように、この実施例4は、ラジアル型屈折率分布レンズを用いることにより、広い画角で、小



型でレンズ枚数の少ない光学系になし得るので、携帯テレビ電話や携帯情報入力装置の画像取込み装置の光学系に適用することが効果的である。これら装置は、画像表示部、バッテリー、演算装置、メモリー等を具えていてしかも携帯性を良くする必要がある。そのためこれら装置に用いられる光学系は、極めて小型であることが望まれる。又これら装置に用いられる光学系は、さらに高い光学性能が要求される。このように小型で高い光学性能を要求される光学系は、収差補正の自由度の少ない均質球面系で達成するのは困難であるが、この実施例はラジアル型屈折率分布レンズを用いて前記要求を十分に満たすようにしたものである。

【0107】また、光学系中に、特定の波長成分をカットするような機能を持たせることが可能であり、ラジアル型屈折率分布レンズにこの機能を持たせることが可能である。例えば、撮像面に赤外線波長域で高い感度を持つCCD等の撮像素子を用いた場合、赤外線波長部分をカットする機能を持たせることが望ましい。

【0108】また、レンズの平面部や平板の平面部に特定波長をカットする干渉膜を設けることも可能である。例えば、この実施例の第2レンズの物体側の面に干渉膜を設けることが可能である。また、絞りは薄板で作製することが可能である。

【0109】また、ラジアル型屈折率分布レンズの面形状を両凸形状にすれば、両面に屈折力を分散させ諸収差の発生量を小さくすることが出来る。

【0110】この実施例4の収差状況は、図23に示す通りである。

【0111】実施例5は、図5に示すように、物体側から順に、負レンズと正レンズの2枚にて構成されたレトロフォーカスタイプの光学系である。又絞りは負レンズと正レンズの間に配置されている。つまりこの実施例の光学系は、物体側より順に、平凹レンズで画角を広げる作用を持つ第1レンズと、絞りと、平凸レンズで結像作用を有する第2レンズより構成されており、第2レンズがラジアル型屈折率分布レンズである。

【0112】この実施例5は、画角が広い光学系であり、内視鏡対物レンズやビデオカメラ用レンズ等に用いられる。この実施例の光学系は、画角が広いために、特に倍率の色収差の補正が困難であるが、ラジアル型屈折率分布レンズを用いてこれを良好に補正している。このラジアル型屈折率分布レンズは、平凸形状であって一方の面が平面であり、したがって製作性が良く、製作コストが安価になり、安価な光学系を達成し得た。

【0113】また、ラジアル型屈折率分布レンズが正の屈折力を有するのでベッツバール和を補正する作用も有している。

【0114】この実施例5の収差状況は、図24に示す通りである。

【0115】実施例6は、図6に示す構成で、物体側より

り順に、正レンズ、正レンズ、正レンズ、正レンズの4枚の正レンズにて構成された像伝送光学系である。つまり物体側より順に、凸平形状の第1レンズと、両平面形状の第2レンズと、両平面形状の第3レンズと、平凸形状の第4レンズとよりなる。そして、第2レンズと第3レンズとがラジアル型屈折率分布レンズであり、このラジアル型屈折率分布レンズにより特に軸上色収差を良好に補正している。

【0116】この実施例は、硬性鏡リレー光学系等のほぼ等倍結像を要する光学系に用い得るものである。また前群の第1レンズと第2レンズおよび後群の第3レンズと第4レンズとが夫々接着又は密着され、光学系中の空気接触面を減らすことにより透過率を向上させている。また、前群と後群とをほぼ対称なレンズ構成にして、特に倍率色収差、コマ収差、歪曲収差等の軸外収差を良好に補正している。

【0117】この実施例の光学系は、1回リレーの光学系であるが、光軸上に複数の光学系を配置して複数回リレーするリレー光学系とすることが出来る。又これらリレー光学系と対物光学系や接眼光学系とを組合わせて用いることが出来る。

【0118】この実施例のごとく、色収差を更に良好に補正するためには、下記条件(2-3)を満足することが望ましい。

【0119】

$$(2-3) \quad -0.05 < 1/V_1 < 0.03$$

この条件(2-3)を満足すれば、d線、C線、F線の3波長の軸上色収差を良好に補正することが可能である。条件(2-3)の上限値の0.03を超えると軸上色収差が補正不足になり、下限値の-0.05を超えると軸上色収差が補正過剰になる。

【0120】また、より高精細な画像が要求される場合には、条件(2-3)に加えて下記条件(2-4)を満足することが望ましい。

【0121】

$$(2-4) \quad -0.02 < 1/V_1 < 0.01$$

また、色収差を一層良好に補正するためには、下記条件(3-3)を満足することが望ましい。

【0122】

$$(3-3) \quad -0.03 < 1/V_1(g) < 0.02$$

上記条件(3-3)を満足すれば、d線、F線、g線の3波長の軸上色収差を良好に補正することが可能になる。この条件(3-3)の上限値の0.02を超えると軸上色収差が補正不足になり、又下限値の-0.03を超えると軸上色収差が補正過剰になる。

【0123】又、 $1/V_1(g)$ が下記条件(4-3)を満足すれば一層望ましい。

【0124】

$$(4-3) \quad -0.02 < 1/V_1(g) < 0.01$$

この実施例6の収差状況は、図25に示すとうりであ

る。

【0125】実施例7は、図7に示す通りの構成で、正のレンズ群と負のレンズ群と正のレンズ群よりなる3群構成のズームレンズである。この実施例はラジアル型屈折率分布レンズを用いて、特に軸上色収差が良好に補正されたズームレンズを構成したものである。つまり、正の第1レンズ群は、変倍時固定であり軸上および軸外光束を第2レンズ群に収束させ入射させ、第2レンズ群と第3レンズ群は、変倍時可動であって、変倍作用と変倍に伴う像面位置のずれを補正する作用を有している。

【0126】また各レンズ群の構成は、第1レンズ群が物体側より順に、凹面を像側に向けたメニスカス形状の正レンズ1枚にて構成され、第2レンズ群が物体側より順に、負レンズと負レンズと正レンズの3枚のレンズにて構成され、そのうちの2番目の負レンズと正レンズとは接合されて接合レンズをなし、第3レンズ群は、ラジアル型屈折率分布レンズ1枚にて構成されている。この第3レンズ群は、主として結像作用を有しているために軸上色収差の発生量が大になる傾向があり、この軸上色収差をラジアル型屈折率分布レンズを用いることにより

良好に補正している。

【0127】本発明のラジアル型屈折率分布レンズを、この実施例のようなズームレンズに用いる場合、条件(1)と条件(2)とを同時に満足することが望ましい。

【0128】通常、ズーム光学系は、ズーミングの際の色収差変動を小さくするために各レンズ群単独で収差が良好に補正されていることが望ましい。そのため、色収差についても各レンズ群単独で1次スペクトルと2次スペクトルが良好に補正されていることが望まれる。したがって、ラジアル型屈折率分布レンズをズーム光学系に用いる場合には、条件(1)と条件(2)とを同時に満足することが好ましい。また条件(2)と条件(3)を同時に満足しても同様の効果が得られる。また光学系中にラジアル型屈折率分布レンズを1枚だけ設ける場合は、条件(1)を満足することが望ましい。

【0129】この実施例7の色収差状況は、図26、図27、図28に示す通りである。

【0130】実施例8は、図8に示すように物体側より順に負レンズ、正レンズ、正レンズの3枚のレンズよりなり、正レンズと正レンズの間に絞りが配置されたレトロフォーカスタイプの光学系である。つまり、この光学系は、物体側より順に、平凹形状で画角を広くする作用を有する第1レンズと、両面平面形状で主として第1レンズで発生する倍率の色収差を補正する作用を有する第2レンズと、両凸形状で主として結像作用を有する第3レンズとよりなる光学系である。そして第2レンズがラジアル型屈折率分布レンズである。

【0131】この実施例8の光学系は、画角が広く内視鏡対物レンズやビデオカメラ等に用いることの出来る光

学系である。この光学系は、画角が大であるので、倍率の色収差の補正が困難であるが、ラジアル型屈折率分布レンズを用いてこの倍率の色収差を良好に補正している。

【0132】又、ラジアル型屈折率分布レンズは、両平面の形状であり製作性やコストの低減にとって好ましい。

【0133】この実施例では、ラジアル型屈折率分布レンズを絞りより物体側に用いており、これにより倍率の色収差を補正するためには、下記条件(2-5)を満足することが望ましい。

【0134】

$$(2-5) \quad 0.02 < 1/V_1 < 0.5$$

もし条件(2-5)の下限値の0.02を超えると倍率の色収差が補正不足になり、上限値の0.5を超えると倍率色収差が補正過剰になる。

【0135】又この実施例のように絞りより物体側にラジアル型屈折率分布レンズを配置して倍率の色収差を一層良好に補正するためには、下記条件(2-6)を満足することが望ましい。

【0136】

$$(2-6) \quad 0.015 < 1/V_1 < 0.1$$

もし、条件(2-6)の下限値の0.015を超えると倍率の色収差が補正不足になり、上限値の0.1を超えると倍率の色収差が補正過剰になる。

【0137】また、屈折率分布レンズの素材作製の容易さを考えると $1/V_1$ は、0.08以下であることが好ましい。

【0138】また、レンズの耐久性が問題になる場合は、全てガラスにて構成することが望ましい。

【0139】この実施例8の色収差状況は、図29に示す通りである。

【0140】実施例9は、図9に示す構成のもので、負レンズと正レンズの2枚のレンズよりなり、両レンズ間に絞りが配置された光学系で、レトロフォーカスタイプの光学系である。

【0141】この実施例は、画角の広い光学系で、内視鏡対物レンズやビデオカメラ等に用いられる。この実施例は、画角が広い倍率の色収差の補正が困難であるが第1レンズのラジアル型屈折率分布レンズにより良好に補正している。

【0142】また、ラジアル型屈折率分布レンズである第1レンズを凹面を絞り側に向けたメニスカス形状にしたので軸外収差が良好に補正されている。

【0143】また、絞りよりも物体側の第1レンズには非球面を用いており、この非球面により画角が広い場合に問題になる軸外収差特にコマ収差を良好に補正している。この非球面は、光軸から周辺に行くにしたがって正の屈折力が弱くなるような形状であり、これにより、歪曲収差も良好に補正している。また両面非球面にするこ

とも可能であり、それにより偏心に強い構成にすることが出来る。

【0144】本発明の光学系で用いる非球面の形状は、次の式にて表わすことが出来る。

$$x = \frac{y^2/r}{1 + \sqrt{1 - (1+K)(y/r)^2}} + \sum_{i=1}^n A_i y^{2i}$$

【0145】上記式は、x軸を光軸方向にとり、y軸を光軸と直角方向にとったもので、rは光軸上の曲率半径、K、 $A_i$ は非球面係数である。

【0146】この実施例は、非球面を用いることにより、画角が広く小型でレンズ枚数が少なく、色収差やコマ収差等の諸収差を良好に補正した光学系になし得たもので、したがって携帯テレビ電話や携帯情報入力装置の画像取込み装置の光学系に適用すれば効果的である。携帯テレビ電話等の装置は、画像表示部やバッテリー、演算装置、メモリー等を装置内に備えており、しかも携帯性を良くするために用いる光学系は、レンズ枚数の少ない小型なものが要求される。しかも光学性能としては、

【0147】この実施例9の収差状況は図30に示す通りである。

【0148】実施例10は、図10に示す通りの構成で、物体側より順に、負レンズと正レンズとよりなるレトロフォーカスタイプの光学系で、絞りは負レンズと正レンズの間に配置されている。つまり物体側より順に、両平面の形状で、画角を広くする作用を有する第1レンズと絞りと両凸形状で主として結像作用を有する第2レンズとにて構成された光学系で、第1レンズがラジアル型屈折率分布レンズである。

【0149】この実施例10は、画角が広く、内視鏡対物光学系やビデオカメラ用光学系等に用いられる。この光学系は、広い画角のため、特に倍率の色収差の補正が困難であるが、ラジアル型屈折率分布レンズを用いて、倍率の色収差を良好に補正している。

【0150】この実施例10の収差状況は、図31に示す通りである。

【0151】実施例11は、図11に示す通りラジアル型屈折率分布レンズ1枚にて構成されている。つまり凹面を物体側に向けたメニスカス形状のラジアル型屈折率分布レンズよりなり、絞りはラジアル型屈折率分布レンズの物体側面より像側へ0.9471mmの位置に設けられている。又ラジアル型屈折率分布レンズは、媒質が正の屈折力を持っている。

\*

$$r_1 = 68.7540$$

$$d_1 = 7.7520$$

$$n_1 = 1.48700$$

$$v_1 = 70.20$$

\* 【0152】この光学系は、画角が広く内視鏡対物光学系やビデオカメラ用光学系等に用いられる。

【0153】この実施例の光学系も、画角が広いため倍率の色収差の補正が困難であるが、ラジアル型屈折率分布レンズにより倍率の色収差が良好に補正されている。又絞りをラジアル型屈折率分布レンズ内部に配置したことにより、媒質の屈折力の対称性を良くして軸外収差を良好に補正している。

【0154】この実施例において最も物体側に配置した平板ガラスは、カバーガラスである。

【0155】また、物体側の凹面又は像側の凸面で発生する倍率の色収差を絞りよりも物体側の媒質で補正するために前記の条件(2-5)を満足するようにしている。

【0156】また、ラジアル型屈折率分布レンズの面で発生する色収差を小さくするためには、 $V_0$ の値を30以上にすることが望ましく、 $V_0$ が40以上であれば一層望ましい。

【0157】また、ペッツパール和の補正を考慮するとラジアル型屈折率分布レンズの光軸上の屈折率 $N_0$ は、1.55以上であることが望ましい。また、より良好に補正するには1.6以上が望ましい。特に広画角の光学系を達成するためには、ラジアル型屈折率分布レンズの光軸上の屈折率 $N_0$ は、1.65以上であることが望ましい。

【0158】この実施例11の収差状況は、図32に示す通りである。

【0159】実施例12は、図12に示すように、物体側より順に、正レンズと正レンズの2枚にて構成されている。つまり物体側より順に、平凹形状の第1レンズと、凹面を像側に向けたメニスカス形状の第2レンズとよりなり、第1レンズ、第2レンズ共にラジアル型屈折率分布レンズである。

【0160】この実施例12は、本発明を顕微鏡対物光学系に適用した例であって、特に軸上色収差の補正が困難である顕微鏡対物光学系において、ラジアル型屈折率分布レンズを用いてこの収差を良好に補正したものである。

【0161】この実施例を透過率やフレアーの防止を重要視する光学系に適用する場合には、ラジアル型屈折率分布レンズの厚さを50mm以下にすることが望ましい。更に厚さを30mm以下にすれば一層望ましい。又この実施例は、第2レンズを条件(2-5)を満足するようにして主として倍率の色収差を良好に補正している。

【0162】この実施例は、光学系よりの射出光束が平行光束になる無限遠設計の対物レンズであり、光学系自体では結像しない。したがって例えば図43に示すような構成で下記データーを有する結像レンズと組合わせて用いられる。

33

$r_1 = -37.5670$   
 $r_2 = -102.8470$   
 $r_3 = 84.3090$   
 $r_4 = -50.7100$   
 $r_5 = 40.6610$

$d_1 = 3.4740$   
 $d_2 = 0.6970$   
 $d_3 = 6.0230$   
 $d_4 = 3.0290$

$n_1 = 1.80600$   
 $n_2 = 1.83400$   
 $n_3 = 1.64400$

34

$v_1 = 40.90$   
 $v_2 = 37.10$   
 $v_3 = 40.80$

この実施例と図43に示す結像レンズとを間隔120mmを設けて組合わせた時の収差状況は図33に示す通りである。尚上記間隔は、50～170mmの間の120mm以外の値にしてもよく、その場合も収差状況は図33に示すものとほぼ同じである。

【0163】実施例13は、図13に示す通り、物体側より順に、正レンズと負レンズの2枚のレンズにて構成されている。つまり、物体側より順に、凹面を物体側に向けたメニスカス形状の第1レンズと、凹面を像側に向けたメニスカス形状の第2レンズより構成され、第1レンズ、第2レンズ共にラジアル型屈折率分布レンズである。

【0164】この実施例の光学系も、本発明の光学系を顕微鏡対物光学系に適用したものであり、実施例12と同様に、ラジアル型屈折率分布レンズにより軸上色収差を良好に補正している。又ラジアル型屈折率分布レンズの媒質に正の屈折力を持たせ、面の形状を負レンズの形状にすることによってベッツバール和を良好に補正している。

【0165】この実施例13の収差状況は、図34に示す通りである。

【0166】実施例14は、図14に示すように、物体側より順に、正レンズと正レンズと負レンズの3枚のレンズにて構成している。つまり凹面を物体側へ向けたメニスカス形状の第1レンズと、凹面を物体側へ向けたメニスカス形状の第2レンズと、凹面を像側へ向けたメニスカス形状の第3レンズとよりなり、第2レンズがラジアル型屈折率分布レンズである。このようにラジアル型屈折率分布レンズを用いることにより顕微鏡対物レンズにて補正の困難である軸上色収差を良好に補正している。また第1レンズを凹面を物体側に向けたメニスカス形状にすることにより特に球面収差を良好に補正している。

【0167】この実施例14の収差状況は、図35に示す通りである。

【0168】実施例15は、図15に示す通りで、物体側より順に、負レンズと正レンズの2枚のレンズにて構成した。つまり物体側より順に、凹面を像側に向けたメニスカス形状の第1レンズと、凹面を物体側へ向けたメニスカス形状の第2レンズとよりなり、第1レンズがラジアル型屈折率分布レンズである。

【0169】この実施例15の光学系も、顕微鏡対物光学系に適用したもので、レンズ枚数が2枚であり、又ラジアル型屈折率分布レンズが1枚であるにも拘らず諸収差が良好に補正されている。特に顕微鏡対物光学系は、

軸上色収差の補正が困難であるが、第1レンズにラジアル型屈折率分布レンズを用いて軸上色収差を良好に補正している。

【0170】この実施例15の収差状況は、図36に示す通りである。

【0171】前記実施例13、14、15の光学系も実施例12と同様無限遠設計の光学系である。したがって、例えば図43に示すような結像レンズと組合わせて用いられる。これら実施例13、14、15の光学系の収差図も、図43に示す結像レンズを間隔を120mm設けて組合わせた時のものであるが、50mm～170mmの間で120mm以外の値でもよい。又120mm以外の場合においても、収差状況はほぼ同様である。

【0172】実施例16は、図16に示す通りで、物体側より順に、負レンズと正レンズの2枚のレンズにて構成されている。つまり、物体側より順に、反射面を含む凹平形状の第1レンズと、両平面のラジアル型屈折率分布レンズの第2レンズとにて構成されている。また絞りは、第1レンズと第2レンズの間に設けられており、最も像側の平行平板は、カバーガラスである。

【0173】実施例16は、内視鏡対物レンズやビデオカメラ等の光学系に用い得るものである。又光学系中に反射面を設けたので光学系をコンパクトになし得、又第1レンズの像側の面とラジアル型屈折率分布レンズとを接着して組立を容易になし得る。またラジアル型屈折率分布レンズを他の光学素子と接着するようにしてあるので、ラジアル型屈折率分布レンズの接合面を砂擦り状態のまま用いることが出来、ラジアル型屈折率分布レンズの加工工程を簡素化出来る。

【0174】この実施例16の収差状況は、図37に示す通りである。

【0175】実施例17は図17に示すように、物体側より順に、正レンズと正レンズの2枚のレンズにて構成されている。つまり、物体側より順に、ラジアル型屈折率分布レンズの第1レンズと、回折型光学素子の第2レンズとにて構成されており絞りは第1レンズの物体側に配置してある。このようにラジアル型屈折率分布レンズと回折型光学素子とにより諸収差を良好に補正した光学系である。

【0176】回折型光学素子は、文献「SPIE」第126巻46頁～(1977年)に記載されているように非常に高い仮想的な屈折率を持つレンズと等価であって、したがって、前記実施例のデータ中には、発生する収差をも含めて光学的に等価なレンズとして曲率半径、肉厚、屈折率、アッペ数、非球面係数の夫々の値を

示してある。

【0177】この実施例の光学系は、ラジアル型屈折率分布レンズの第1レンズが主として結像作用を有し、回折型光学素子の第2レンズにより、主として倍率の色収差の補正を行なっている。

【0178】この実施例17は、レンズ枚数の少ない広角な光学系で、回折型光学素子を絞りよりも像側に配置して特に倍率の色収差を良好に補正している。又この回折型光学素子は、正の屈折力を持ち、ラジアル型屈折率分布レンズよりも像側に配置してラジアル型屈折率分布レンズの凸面で発生する倍率の色収差を補正している。

【0179】この実施例の光学系は、内視鏡の対物レンズやビデオカメラ用光学系等に用いられるものである。回折型光学素子を用いたことにより、画角が広く小型でレンズ枚数が少なく色収差やコマ収差等諸収差が良好に補正されており携帯テレビ電話や携帯情報入力装置に用いられれば効果的である。

【0180】この実施例17の収差状況は、図38に示す通りである。

【0181】実施例18は、図18に示すもので、物体側より順に負レンズと正レンズの2枚のレンズにて構成されており、絞りは負レンズと正レンズの間に設けられている。つまりこの光学系は、物体側より順に、凹面を像側に向けたメニスカス形状の第1レンズと絞りと両凸形状の第2レンズとより構成され、第1レンズがラジアル型屈折率分布レンズである。この光学系は、第1レンズが主として画角を広げる作用をもち、第2レンズは主として結像作用を有している。

【0182】この実施例では、絞りより物体側に色収差の発生量の少ない負の屈折力のラジアル型屈折率分布レンズを用いることにより特にレンズ系全系で発生する倍率の色収差を良好に補正している。又この第1レンズをメニスカス形状にしたことにより軸外収差を良好に補正している。特に第1レンズを凹面を絞り側に向けたメニスカス形状のレンズにして軸外収差の発生量を小さくしている。また第2レンズを両凸レンズにして屈折力を両面に分配して収差の発生量を小にした。

【0183】この実施例18の収差状況は、図39に示す通りである。

【0184】実施例19は、図19に示す通り物体側より順に、負レンズと正レンズの2枚のレンズにて構成されている。つまり像側に凹面に向けたメニスカス形状で主として画角を広げる作用を有する第1レンズと絞りと両凸形状で主として結像作用を有する第2レンズとにて構成された光学系である。

【0185】この実施例は、実施例18と類似する構成の実施例で、ラジアル型屈折率分布レンズに代えて回折型光学素子を用いて諸収差を良好に補正している。

【0186】この実施例は、絞りを挟んで負、正の非対称な屈折率配置であり、軸外収差の補正が困難である

が、絞りより物体側に回折型光学素子を用いることにより、特に倍率の色収差を良好に補正している。また第2レンズの正レンズに非球面を用いて光軸から半径方向に行くにしたがって正の屈折力が弱くなるような形状にして、特にコマ収差、歪曲収差を良好に補正している。また、第1レンズの負レンズを凹面を絞り側に向けたメニスカス形状にして、特に軸外収差の発生を小さくした。また第2レンズを両凸形状にして屈折力を両面に分配して諸収差の発生量を小さくしている。また、回折型光学素子を第1レンズの絞りに向けて凹にした面に形成することにより、軸上光束と軸外光束が回折型光学素子に入射する時の入射角の差を小さくして回折効率が向上するようにしている。

【0187】この実施例19の収差状況は、図40に示す通りである。

【0188】本発明の光学系は、銀塩カメラ、ビデオカメラ等の光学系として用いられる。図44乃至図50は、本発明の光学系を各種装置に適用した状態を示す図である。

【0189】図44は、本発明の光学系を銀塩カメラに適用した時の概略図であって、図において1が本発明の光学系である。

【0190】図45は、本発明の光学系を顕微鏡に適用した時の概略図であって、図において1が本発明の光学系を適用した対物レンズである。又2は結像レンズが内装されている鏡筒部、3は接眼レンズである。

【0191】図46は、本発明の光学系を内視鏡に適用した時の概略図であって、1が本発明の光学系を用いた先端部の対物光学系である。

【0192】図47は、本発明の光学系を硬性鏡に適用した時の概略図であって、1が本発明の光学系を用いた先端部の対物光学系である。

【0193】図48は、本発明の光学系をビデオカメラに適用した時の概略図であって、1が本発明の光学系を用いた対物レンズ部である。

【0194】図49は、本発明の光学系を携帯テレビ電話に適用した時の概略図で、図中1が本発明の光学系を用いた対物レンズ部である。又4は送受信のためのアンテナ、5は表示装置、6は各種スイッチである。

【0195】図50は、本発明の光学系を携帯情報入力装置に適用した時の概略図であって、1が本発明の光学系を用いた対物レンズ部である。又7は情報の送受信のためのアンテナ、8は表示装置、9は各種スイッチ部である。

【0196】本発明において、前記特許請求の範囲に記載のもの他、次の各項に記載するものも本発明の目的を達成し得る。

【0197】(1)媒質中に光軸から半径方向に向かって屈折率の分布を有するラジアル型屈折率分布レンズを有し、前記ラジアル型屈折率分布レンズの屈折率の分布

の傾きが各波長毎に異なるとき、下記条件 (3) を満足することを特徴とする光学系。

$$(3) \quad -0.5 < 1/V_1(g) < 0.5$$

【0198】 (2) 媒質中に光軸から半径方向に向かって屈折率の分布を有するラジアル型屈折率分布レンズを有し、前記ラジアル型屈折率分布レンズの屈折率の分布の傾きが各波長毎に異なるとき、下記の条件 (5) を満足することを特徴とする光学系。

$$(5) \quad -1 < 1/v_{eff} < 1$$

【0199】 (3) 媒質中に光軸から半径方向に向かって屈折率分布を有するラジアル型屈折率分布レンズを2枚有し、前記ラジアル型屈折率分布レンズの少なくとも一つが下記条件 (2-4) を満足することを特徴とする光学系。

$$(2-4) \quad 0.02 < 1/V_1 < 0.5$$

【0200】 (4) 物体側より順に、第1レンズ、第2レンズ、第3レンズの三つのレンズよりなり前記第2レンズが、媒質中に光軸から半径方向に向かって屈折率分布を有するラジアル型屈折率分布レンズであり、前記第1レンズが凹面を物体に向けたメニスカス形状のレンズであることを特徴とする光学系。

【0201】 (5) 物体側より順に、メニスカス形状のレンズ1枚よりなる負の屈折力の第1群と、正の屈折力の第2群とよりなり前記第1群のメニスカス形状のレンズが光軸から半径方向に屈折率分布を持つラジアル型屈折率分布レンズであることを特徴とする光学系。

【0202】 (6) 少なくとも1面の反射面を有する光学素子と、媒質中に光軸から半径方向に向かって屈折率の分布を有するラジアル型屈折率分布レンズとを有することを特徴とする光学系。

【0203】 (7) 媒質中に光軸から半径方向に向かって屈折率の分布を有するラジアル型屈折率分布レンズを少なくとも1枚有する光学系を備えたことを特徴とするテレビ電話。

【0204】 (8) 媒質中に光軸から半径方向に向かって屈折率の分布を有するラジアル型屈折率分布レンズを少なくとも1枚有する光学系を備えたことを特徴とする情報入力装置。

【0205】 (9) 少なくとも1面が非球面であるレンズを少なくとも1枚有する光学系を備えたことを特徴とするテレビ電話。

【0206】 (10) 少なくとも1面が非球面であるレンズを少なくとも1枚有する光学系を備えたことを特徴とする情報入力装置。

【0207】 (11) 回折光学素子を少なくとも1枚有する光学系を備えたテレビ電話。

【0208】 (12) 回折光学素子を少なくとも1枚有する光学系を備えた情報入力装置。

【0209】 (13) 物体側より順に、負レンズと正レンズよりなる前群と、少なくとも1枚の正レンズを有す

る後群とよりなり、前記正レンズが下記条件 (7) を満足することを特徴とする光学系。

$$(7) \quad 0.022 < 1/v_{eff}$$

【0210】 (14) 絞りより物体側に負の屈折力の回折光学素子を有することを特徴とする光学系。

【0211】 (15) 特許請求の範囲の請求項1、2又は3にあるいは前記の (1)、(2)、(3)、

(4)、(5) 又は (6) に記載されている光学系で、前記少なくとも1枚のラジアル型屈折率分布レンズの光軸上のアッペ数が周辺のアッペ数よりも大であることを特徴とする光学系。

【0212】 (16) 前記の (7) に記載されたテレビ電話で、光学系が少なくとも1枚のラジアル型屈折率分布レンズの光軸上のアッペ数が周辺部のアッペ数よりも大であることを特徴とするテレビ電話。

【0213】 (17) 前記の (8) に記載された情報入力装置で、光学系が少なくとも1枚のラジアル型屈折率分布レンズの光軸上のアッペ数が周辺部のアッペ数よりも大であることを特徴とする情報入力装置。

【0214】 (18) 特許請求の範囲の請求項1、2又は3あるいは (1)、(2)、(3)、(4)、(5) 又は (6) に記載されたもので、単焦点であることを特徴とする光学系。

【0215】 (19) 前記の (7)、(9) 又は (11) に記載されたテレビ電話で、光学系が単焦点であることを特徴とするテレビ電話。

【0216】 (20) 前記の (8)、(10) 又は (12) に記載された情報入力装置で、光学系が単焦点であることを特徴とする情報入力装置。

【0217】 (21) 特許請求の範囲の請求項1、2又は3あるいは前記の (1)、(3)、(4)、(5)、(6)、(13) 又は (14) に記載された光学系で、ラジアル型屈折率分布レンズが1枚のみ用いられていることを特徴とする光学系。

【0218】 (22) 前記の (7)、(9)、(11)、(16) 又は (19) に記載されたテレビ電話で、光学系がラジアル型屈折率分布レンズを1枚のみ用いたことを特徴とするテレビ電話。

【0219】 (23) 前記の (8)、(10)、(12)、(17) 又は (20) に記載された情報入力装置で、光学系がラジアル型屈折率分布レンズを1枚のみ用いたことを特徴とする情報入力装置。

【0220】 (24) 特許請求の範囲の請求項1、2又は3あるいは前記の (1)、(2)、(3)、(4)、(5)、(6) 又は (13) に記載されたもので、回折光学素子を少なくとも1枚有することを特徴とする光学系。

【0221】 (25) 前記の (7) 又は (9) に記載されたテレビ電話で、光学系が回折光学素子を少なくとも1枚有することを特徴とするテレビ電話。

【0222】(26) 前記の(8)又は(10)に記載された情報入力装置で、光学系が回折光学素子を少なくとも1枚有することを特徴とする情報入力装置。

【0223】(27) 特許請求の範囲の請求項1又は2あるいは前記の(1)、(2)、(3)、(4)、

(5)、(6)、(13)又は(14)に記載された光学系で、物体側より負の屈折力の前群と正の屈折力の後群とよりなることを特徴とする光学系。

【0224】(28) 前記の(7)、(9)又は(11)に記載されたテレビ電話で、前記光学系が物体側より順に負の屈折力の前群と正の屈折力の後群とよりなることを特徴とするテレビ電話。

【0225】(29) 前記(8)、(10)又は(12)に記載された情報入力装置で、前記光学系が物体側より順に負の屈折力の前群と正の屈折力の後群とよりなることを特徴とする情報入力装置。

【0226】(30) 前記の(27)の項に記載された光学系で、前群が物体側より順に負レンズと正レンズとで構成されたことを特徴とする光学系。

【0227】(31) 前記の(28)の項に記載されたテレビ電話で、前記光学系の前群が物体側より順に負レンズと正レンズとで構成されたことを特徴とするテレビ電話。

【0228】(32) 前記の(29)の項に記載された情報入力装置で、前記光学系の前群が物体側より順に負レンズと正レンズとで構成されたことを特徴とする情報入力装置。

【0229】(33) 前記の(27)の項に記載された光学系で、後群が正レンズ1枚で構成されたことを特徴とする光学系。

【0230】(34) 前記の(28)の項に記載されたテレビ電話で、前記光学系の後群が正レンズ1枚で構成されたことを特徴とするテレビ電話。

【0231】(35) 前記の(29)の項に記載された情報入力装置で、前記光学系の後群が正レンズ1枚で構成されたことを特徴とする情報入力装置。

【0232】(36) 前記の(27)の項に記載された光学系で、前群が負レンズ1枚で構成されたことを特徴とする光学系。

【0233】(37) 前記の(28)の項に記載されたテレビ電話で、前記光学系の前群が負レンズ1枚で構成されたことを特徴とするテレビ電話。

【0234】(38) 前記の(29)の項に記載された情報入力装置で、前記光学系の前群が負レンズ1枚で構成されたことを特徴とする情報入力装置。

【0235】(39) 特許請求の範囲の請求項1、2又は3あるいは前記の(1)、(2)、(3)、(4)、(5)、(6)、(13)又は(14)に記載された光学系で、少なくとも1面が非球面であるレンズを少なくとも1枚含むことを特徴とする光学系。

【0236】(40) 前記の(7)又は(11)に記載されたテレビ電話で、前記光学系が少なくとも1面が非球面であるレンズを少なくとも1枚含むことを特徴とするテレビ電話。

【0237】(41) 前記の(8)又は(12)に記載された情報入力装置で、前記光学系が少なくとも1面が非球面であるレンズを少なくとも1枚含むことを特徴とする情報入力装置。

【0238】(42) 特許請求の範囲の請求項1、2又は3あるいは前記の(1)、(2)、(3)、(4)、(5)、(6)、(13)又は(14)に記載された光学系で、少なくとも1枚の特定波長をカットする機能を有する光学素子を用いたことを特徴とする光学系。

【0239】(43) 前記の(7)、(9)又は(11)に記載されたテレビ電話で、光学系中に少なくとも1枚の特定波長をカットする機能を有する光学素子を用いたことを特徴とするテレビ電話。

【0240】(44) 前記の(8)、(10)又は(12)に記載された情報入力装置で、前記光学系中に1枚の特定波長をカットする機能を有する光学素子を用いたことを特徴とする情報入力装置。

【0241】(45) 特許請求の範囲の請求項1、2又は3あるいは前記の(1)、(2)、(3)、(4)、(5)、(6)、(13)又は(14)の項に記載する光学系で、少なくとも1枚のレンズが特定の波長成分をカットする機能を有することを特徴とする光学系。

【0242】(46) 前記の(7)、(9)又は(11)の項に記載するテレビ電話で、光学系中の少なくとも1枚のレンズが特定の波長成分をカットする機能を有することを特徴とするテレビ電話。

【0243】(47) 前記の(8)、(10)又は(12)の項に記載する情報入力装置で、光学系中の少なくとも1枚のレンズが特定の波長成分をカットする機能を有することを特徴とする情報入力装置。

【0244】(48) 特許請求の範囲の請求項1又は3あるいは前記の(1)、(2)、(3)、(4)、(5)、(6)、(13)又は(14)の項に記載する光学系で、少なくとも片側の面が平面形状であるレンズを少なくとも1枚含むことを特徴とする光学系。

【0245】(49) 前記の(7)、(9)又は(11)の項に記載するテレビ電話で、光学系中少なくとも片側の面が平面形状であるレンズを少なくとも1枚含むことを特徴とするテレビ電話。

【0246】(50) 前記の(8)、(10)又は(12)の項に記載する情報入力装置で、光学系中少なくとも片側の面が平面形状であるレンズを少なくとも1枚含むことを特徴とする情報入力装置。

【0247】(51) 特許請求の範囲の請求項1、2又は3あるいは前記の(1)、(2)、(3)、(4)、(5)又は(6)の項に記載する光学系で、少なくとも

1枚のラジアル型屈折率分布レンズの媒質が正の屈折力を持つことを特徴とする光学系。

【0248】(52)前記の(7)の項に記載するテレビ電話で、少なくとも1枚のラジアル型屈折率分布レンズの媒質が正の屈折力を持つことを特徴とするテレビ電話。

【0249】(53)前記の(8)の項に記載する情報入力装置で、少なくとも1枚のラジアル型屈折率分布レンズの媒質が正の屈折力を持つことを特徴とする情報入力装置。

【0250】(54)特許請求の範囲の請求項1、2又は3あるいは前記の(1)、(2)、(3)、(4)、(5)又は(6)の項に記載する光学系で、少なくとも1つのラジアル型屈折率分布レンズの屈折率の分布が下記式(a)にて表わされることを特徴とする光学系。

$$n_x(r) = \sum_{i=0}^{\infty} N_i r^i \quad (a)$$

【0251】(55)前記の(7)の項に記載するテレビ電話で、少なくとも1つのラジアル型屈折率分布レンズの屈折率の分布が下記式(a)にて表わされることを特徴とするテレビ電話。

$$n_x(r) = \sum_{i=0}^{\infty} N_i r^i \quad (a)$$

【0252】(56)前記の(7)の項に記載する情報入力装置で、少なくとも1つのラジアル型屈折率分布レンズの屈折率の分布が下記式(a)にて表わされることを特徴とする情報入力装置。

$$n_x(r) = \sum_{i=0}^{\infty} N_i r^i \quad (a)$$

【0253】(57)特許請求の範囲の請求項2又は3あるいは前記の(1)、(2)、(3)、(4)、(5)又は(6)に記載する光学系で、少なくとも1枚のラジアル型屈折率分布レンズが下記条件(1)を満足することを特徴とする光学系。

$$(1) \quad \Delta \theta_{s,r} < 0.5$$

【0254】(58)前記の(7)に記載するテレビ電話で、光学系中の少なくとも1枚のラジアル型屈折率分布レンズが下記条件(1)を満足することを特徴とするテレビ電話。

$$(1) \quad \Delta \theta_{s,r} < 0.5$$

【0255】(59)前記の(8)に記載する情報入力装置で、光学系中の少なくとも1枚のラジアル型屈折率分布レンズが下記条件(1)を満足することを特徴とする情報入力装置。

$$(1) \quad \Delta \theta_{s,r} < 0.5$$

【0256】(60)特許請求の範囲の請求項1、2又は3あるいは前記の(1)、(2)、(3)、(4)、(5)又は(6)に記載する光学系で、少なくとも1枚のラジアル型屈折率分布レンズが下記条件(2)を満足することを特徴とする光学系。

$$(2) \quad -0.5 < 1/V_1 < 0.5$$

【0257】(61)前記の(7)に記載するテレビ電話で、光学系中の少なくとも1枚のラジアル型屈折率分布レンズが下記条件(2)を満足することを特徴とするテレビ電話。

$$(2) \quad -0.5 < 1/V_1 < 0.5$$

【0258】(62)前記の(8)に記載する情報入力装置で、光学系中の少なくとも1枚のラジアル型屈折率分布レンズが下記条件(2)を満足することを特徴とする情報入力装置。

$$(2) \quad -0.5 < 1/V_1 < 0.5$$

【0259】(63)特許請求の範囲の請求項1、2又は3あるいは前記の(1)、(2)、(3)、(4)、(5)又は(6)に記載する光学系で、少なくとも1枚のラジアル型屈折率分布レンズが下記条件(3)を満足することを特徴とする光学系。

$$(3) \quad -0.5 < 1/V_1(g) < 0.5$$

【0260】(64)前記の(7)に記載するテレビ電話で、光学系中の少なくとも1枚のラジアル型屈折率分布レンズが下記条件(3)を満足することを特徴とするテレビ電話。

$$(3) \quad -0.5 < 1/V_1(g) < 0.5$$

【0261】(65)前記の(8)に記載する光学系で、少なくとも1枚のラジアル型屈折率分布レンズが下記条件(3)を満足することを特徴とする光学系。

$$(3) \quad -0.5 < 1/V_1(g) < 0.5$$

【0262】(66)特許請求の範囲の請求項1、2又は3あるいは前記の(1)、(2)、(3)、(4)、(5)又は(6)に記載する光学系で、少なくとも1枚のラジアル型屈折率分布レンズが下記条件(4)を満足することを特徴とする光学系。

$$(4) \quad -1 < 1/v_{r,c} < 1$$

【0263】(67)前記の(7)に記載するテレビ電話で、光学系中の少なくとも1枚のラジアル型屈折率分布レンズが下記条件(4)を満足することを特徴とするテレビ電話。

$$(4) \quad -1 < 1/v_{r,c} < 1$$

【0264】(68)前記の(8)に記載する情報入力装置で、少なくとも1枚のラジアル型屈折率分布レンズが下記条件(4)を満足することを特徴とする情報入力装置。

$$(4) \quad -1 < 1/v_{r,c} < 1$$

【0265】(69)特許請求の範囲の請求項1、2又は3あるいは前記の(1)、(2)、(3)、(4)、(5)又は(6)に記載する光学系で、少なくとも1枚のラジアル型屈折率分布レンズが下記条件(5)を満足することを特徴とする光学系。

$$(5) \quad -1 < 1/v_{o,r} < 1$$

【0266】(70)前記の(7)に記載するテレビ電話で、光学系中の少なくとも1枚のラジアル型屈折率分



布レンズが下記条件 (5) を満足することを特徴とするテレビ電話。

$$(5) \quad -1 < 1/\nu_{\text{eff}} < 1$$

【0267】(71) 前記の (8) に記載する情報入力装置で、光学系中の少なくとも 1 枚のラジアル型屈折率分布レンズが下記条件 (5) を満足することを特徴とする情報入力装置。

$$(5) \quad -1 < 1/\nu_{\text{eff}} < 1$$

【0268】(72) 特許請求の範囲の請求項 1、2 又は 3 あるいは前記の (1)、(2)、(3)、(4)、

(5) 又は (6) に記載する光学系で、少なくとも 1 枚のラジアル型屈折率分布レンズが下記条件 (1-1) を満足することを特徴とする光学系。

$$(1-1) \quad \Delta\theta_{\text{eff}} < 0.2$$

【0269】(73) 前記の (7) に記載するテレビ電話で、少なくとも 1 枚のラジアル型屈折率分布レンズが下記条件 (1-1) を満足することを特徴とするテレビ電話。

$$(1-1) \quad \Delta\theta_{\text{eff}} < 0.2$$

【0270】(74) 前記の (8) に記載する情報入力装置で、少なくとも 1 枚のラジアル型屈折率分布レンズが下記条件 (1-1) を満足することを特徴とする情報入力装置。

$$(1-1) \quad \Delta\theta_{\text{eff}} < 0.2$$

【0271】(75) 特許請求の範囲の請求項 1、2 又は 3 あるいは前記の (1)、(2)、(3)、(4)、

(5) 又は (6) の項に記載する光学系で、少なくとも 1 枚のラジアル型屈折率分布レンズが下記条件 (2-1) を満足することを特徴とする光学系。

$$(2-1) \quad -0.15 < 1/V_1 < 0.06$$

【0272】(76) 前記の (7) の項に記載するテレビ電話で、光学系中の少なくとも 1 枚のラジアル型屈折率分布レンズが下記条件 (2-1) を満足することを特徴とするテレビ電話。

$$(2-1) \quad -0.15 < 1/V_1 < 0.06$$

【0273】(77) 前記の (8) の項に記載する情報入力装置で、光学系中の少なくとも 1 枚のラジアル型屈折率分布レンズが下記条件 (2-1) を満足することを特徴とする情報入力装置。

$$(2-1) \quad -0.15 < 1/V_1 < 0.06$$

【0274】(78) 特許請求の範囲の請求項 1、2 又は 3 あるいは前記の (1)、(2)、(3)、(4)、

(5) 又は (6) の項に記載する光学系で、少なくとも 1 枚のラジアル型屈折率分布レンズが下記条件 (3-1) を満足することを特徴とする光学系。

$$(3-1) \quad -0.1 < 1/V_1(g) < 0.05$$

【0275】(79) 前記の (7) の項に記載するテレビ電話で、光学系中の少なくとも 1 枚のラジアル型屈折率分布レンズが下記条件 (3-1) を満足することを特徴とするテレビ電話。

$$(3-1) \quad -0.1 < 1/V_1(g) < 0.05$$

【0276】(80) 前記の (8) の項に記載する情報入力装置で、光学系中の少なくとも 1 枚のラジアル型屈折率分布レンズが下記条件 (3-1) を満足することを特徴とする情報入力装置。

$$(3-1) \quad -0.1 < 1/V_1(g) < 0.05$$

【0277】(81) 特許請求の範囲の請求項 1、2 又は 3 あるいは前記の (1)、(2)、(3)、(4)、

(5) 又は (6) の項に記載する光学系で、少なくとも 1 枚のラジアル型屈折率分布レンズが下記条件 (4-1) を満足することを特徴とする光学系。

$$(4-1) \quad -0.5 < 1/\nu_{\text{eff}} < 0.5$$

【0278】(82) 前記の (7) の項に記載するテレビ電話で、光学系中の少なくとも 1 枚のラジアル型屈折率分布レンズが下記条件 (4-1) を満足することを特徴とするテレビ電話。

$$(4-1) \quad -0.5 < 1/\nu_{\text{eff}} < 0.5$$

【0279】(83) 前記の (8) の項に記載する情報入力装置で、光学系中の少なくとも 1 枚のラジアル型屈折率分布レンズが下記条件 (4-1) を満足することを特徴とする情報入力装置。

$$(4-1) \quad -0.5 < 1/\nu_{\text{eff}} < 0.5$$

【0280】(84) 特許請求の範囲の請求項 1、2 又は 3 あるいは前記の (1)、(2)、(3)、(4)、

(5) 又は (6) の項に記載する光学系で、少なくとも 1 枚のラジアル型屈折率分布レンズが下記条件 (5-1) を満足することを特徴とする光学系。

$$(5-1) \quad -0.5 < 1/\nu_{\text{eff}} < 0.5$$

【0281】(85) 前記の (7) の項に記載するテレビ電話で、光学系中の少なくとも 1 枚のラジアル型屈折率分布レンズが下記条件 (5-1) を満足することを特徴とするテレビ電話。

$$(5-1) \quad -0.5 < 1/\nu_{\text{eff}} < 0.5$$

【0282】(86) 前記の (8) の項に記載する情報入力装置で、光学系中の少なくとも 1 枚のラジアル型屈折率分布レンズが下記条件 (5-1) を満足することを特徴とする情報入力装置。

$$(5-1) \quad -0.5 < 1/\nu_{\text{eff}} < 0.5$$

【0283】(87) 特許請求の範囲の請求項 1、2 又は 3 あるいは前記の (1)、(2)、(3)、(4)、

(5) 又は (6) の項に記載する光学系で、少なくとも 1 枚のラジアル型屈折率分布レンズが下記条件 (6) を満足することを特徴とする光学系。

$$-0.1 < \sum_{i=1}^n N_{i,c} e^{2i} < 0.2$$

【0284】(88) 前記の (7) の項に記載するテレビ電話で、光学系中の少なくとも 1 枚のラジアル型屈折率分布レンズが下記条件 (6) を満足することを特徴とするテレビ電話。

$$-0.1 < \sum_{i=1}^n N_{i,d} e^{2i} < 0.2$$

【0285】(89)前記の(8)の項に記載する情報入力装置で、光学系中の少なくとも1枚のラジアル型屈折率分布レンズが下記条件(6)を満足することを特徴とする情報入力装置。

$$-0.1 < \sum_{i=1}^n N_{i,d} e^{2i} < 0.2$$

【0286】(90)特許請求の範囲の請求項1、2又は3あるいは前記の(1)、(2)、(3)、(4)、(5)又は(6)の項に記載する光学系で、少なくとも1枚のラジアル型屈折率分布レンズが下記条件(6-1)を満足することを特徴とする光学系。

$$-0.1 < \sum_{i=1}^n N_{i,d} e^{2i} < 0.2$$

【0287】(91)前記の(7)の項に記載するテレビ電話で、光学系中の少なくとも1枚のラジアル型屈折率分布レンズが下記条件(6-1)を満足することを特徴とするテレビ電話。

$$-0.1 < \sum_{i=1}^n N_{i,d} e^{2i} < 0.2$$

【0288】(92)前記の(8)の項に記載する情報入力装置で、光学系中の少なくとも1枚のラジアル型屈折率分布レンズが下記条件(6-1)を満足することを特徴とする情報入力装置。

$$-0.1 < \sum_{i=1}^n N_{i,d} e^{2i} < 0.2$$

【0289】(93)特許請求の範囲の請求項1、2又は3あるいは前記の(1)、(2)、(3)、(4)、(5)又は(6)の項に記載する光学系で、前群の正レンズが下記条件(7)を満足することを特徴とする光学系。

$$(7) \quad 0.022 < 1/\nu,$$

【0290】(94)前記の(7)の項に記載するテレビ電話で、光学系中の前群の正レンズが下記条件(7)を満足することを特徴とするテレビ電話。

$$(7) \quad 0.022 < 1/\nu,$$

【0291】(95)前記の(8)の項に記載する情報入力装置で、光学系中の前群の正レンズが下記条件(7)を満足することを特徴とする情報入力装置。

$$(7) \quad 0.022 < 1/\nu,$$

【0292】(96)特許請求の範囲の請求項1、2又は3あるいは前記の(1)、(2)、(3)、(4)、(5)又は(6)の項に記載する光学系で、前群の正レンズが下記条件(7-1)を満足することを特徴とする光学系。

$$(7-1) \quad 0.028 < 1/\nu,$$

【0293】(97)前記の(7)の項に記載するテレビ電話で、光学系中の前群の正レンズが下記条件(7-1)を満足することを特徴とするテレビ電話。

$$(7-1) \quad 0.028 < 1/\nu,$$

【0294】(98)前記の(8)の項に記載する情報入力装置で、光学系中の前群の正レンズが下記条件(7-1)を満足することを特徴とする情報入力装置。

$$(7-1) \quad 0.028 < 1/\nu,$$

【0295】(99)特許請求の範囲の請求項1、2又は3あるいは前記の(1)、(2)、(3)、(4)、(5)又は(6)の項に記載する光学系で、少なくとも1枚のラジアル型屈折率分布レンズが下記条件(2-3)を満足することを特徴とする光学系。

$$(2-3) \quad -0.05 < 1/V_1 < 0.03$$

【0296】(100)前記の(7)の項に記載するテレビ電話で、光学系中の少なくとも1枚のラジアル型屈折率分布レンズが下記条件(2-3)を満足することを特徴とするテレビ電話。

$$(2-3) \quad -0.05 < 1/V_1 < 0.03$$

【0297】(101)前記の(8)の項に記載する情報入力装置で、光学系中の少なくとも1枚のラジアル型屈折率分布レンズが下記条件(2-3)を満足することを特徴とする情報入力装置。

$$(2-3) \quad -0.05 < 1/V_1 < 0.03$$

【0298】(102)特許請求の範囲の請求項1、2又は3あるいは前記の(1)、(2)、(3)、

(4)、(5)又は(6)の項に記載する光学系で、少なくとも1枚のラジアル型屈折率分布レンズが下記条件(4-3)を満足することを特徴とする光学系。

$$(4-3) \quad -0.03 < 1/V_1(g) < 0.02$$

【0299】(103)前記の(7)の項に記載するテレビ電話で、光学系中の少なくとも1枚のラジアル型屈折率分布レンズが下記条件(4-3)を満足することを特徴とするテレビ電話。

$$(4-3) \quad -0.03 < 1/V_1(g) < 0.02$$

【0300】(104)前記の(8)の項に記載する情報入力装置で、光学系中の少なくとも1枚のラジアル型屈折率分布レンズが下記条件(4-3)を満足することを特徴とする情報入力装置。

$$(4-3) \quad -0.03 < 1/V_1(g) < 0.02$$

【0301】(105)特許請求の範囲の請求項1、2又は3あるいは前記の(1)、(2)、(3)、

(4)、(5)又は(6)の項に記載する光学系で、少なくとも1枚のラジアル型屈折率分布レンズが下記条件(2-4)を満足することを特徴とする光学系。

$$(2-4) \quad 0.02 < 1/V_1 < 0.5$$

【0302】(106)前記の(7)の項に記載するテレビ電話で、光学系中の少なくとも1枚のラジアル型屈折率分布レンズが下記条件(2-4)を満足することを特徴とするテレビ電話。

$$(2-4) \quad 0.02 < 1/V_1 < 0.5$$

【0303】(107)前記の(8)の項に記載する情報入力装置で、光学系中の少なくとも1枚のラジアル型

屈折率分布レンズが下記条件 (2-4) を満足することを特徴とする情報入力装置。

$$(2-4) \quad 0.02 < 1/V_1 < 0.5$$

【0304】(108) 特許請求の範囲の請求項1、2 又は3あるいは前記の(1)、(2)、(3)、

(4)、(5)又は(6)の項に記載する光学系で、少なくとも1枚のラジアル型屈折率分布レンズが下記条件 (2-5) を満足することを特徴とする光学系。

$$(2-5) \quad 0.015 < 1/V_1(g) < 0.1$$

【0305】(109) 前記の(7)の項に記載するテ 10  
レビ電話で、光学系中の少なくとも1枚のラジアル型屈折率分布レンズが下記条件 (2-5) を満足することを特徴とするテレビ電話。

$$(2-5) \quad 0.015 < 1/V_1(g) < 0.1$$

【0306】(110) 前記の(8)の項に記載する情報入力装置で、光学系中の少なくとも1枚のラジアル型屈折率分布レンズが下記条件 (2-5) を満足することを特徴とする情報入力装置。

$$(2-5) \quad 0.015 < 1/V_1(g) < 0.1$$

【0307】(111) 特許請求の範囲の請求項1、2 20  
又は3あるいは前記の(1)、(2)、(3)、

(4)、(5)、(6)、(13)又は(14)の項に記載する光学系を用いたことを特徴とする銀塩カメラ。

【0308】(112) 特許請求の範囲の請求項1、2 又は3あるいは前記の(1)、(2)、(3)、

(4)、(5)、(6)、(13)又は(14)の項に記載する光学系を用いたことを特徴とするビデオカメラ。

【0309】(113) 特許請求の範囲の請求項1、2 30  
又は3あるいは前記の(1)、(2)、(3)、

(4)、(5)、(6)、(13)又は(14)の項に記載する光学系を用いたことを特徴とする内視鏡。

【0310】(114) 特許請求の範囲の請求項1、2 又は3あるいは前記の(1)、(2)、(3)、

(4)、(5)、(6)、(13)又は(14)の項に記載する光学系を用いたことを特徴とする撮像装置。

【0311】(115) 特許請求の範囲の請求項1、2 又は3あるいは前記の(1)、(2)、(3)、

(4)、(5)、(6)、(13)又は(14)の項に記載する光学系を用いたことを特徴とする顕微鏡。 40

【0312】(116) 特許請求の範囲の請求項1、2 又は3あるいは前記の(1)、(2)、(3)、

(4)、(5)、(6)、(13)又は(14)の項に記載する光学系を用いたことを特徴とする像伝送光学系。

【0313】(117) 特許請求の範囲の請求項1、2 又は3あるいは前記の(1)、(2)、(3)、

(4)、(5)、(6)、(13)又は(14)の項に記載する光学系を用いたことを特徴とする測定器。

【0314】

50

【発明の効果】本発明の光学系は、ラジアル型屈折率分布の又媒質での各波長毎の屈折率の変化を適切な値にすることにより色収差を極めて良好に補正している。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施例1の断面図

【図2】本発明の実施例2の断面図

【図3】本発明の実施例3の断面図

【図4】本発明の実施例4の断面図

【図5】本発明の実施例5の断面図

【図6】本発明の実施例6の断面図

【図7】本発明の実施例7の断面図

【図8】本発明の実施例8の断面図

【図9】本発明の実施例9の断面図

【図10】本発明の実施例10の断面図

【図11】本発明の実施例11の断面図

【図12】本発明の実施例12の断面図

【図13】本発明の実施例13の断面図

【図14】本発明の実施例14の断面図

【図15】本発明の実施例15の断面図

【図16】本発明の実施例16の断面図

【図17】本発明の実施例17の断面図

【図18】本発明の実施例18の断面図

【図19】本発明の実施例19の断面図

【図20】本発明の実施例1の収差曲線図

【図21】本発明の実施例2の収差曲線図

【図22】本発明の実施例3の収差曲線図

【図23】本発明の実施例4の収差曲線図

【図24】本発明の実施例5の収差曲線図

【図25】本発明の実施例6の収差曲線図

【図26】本発明の実施例7のワイド端における収差曲線図

【図27】本発明の実施例7の中間焦点距離における収差曲線図

【図28】本発明の実施例7のテレ端における収差曲線図

【図29】本発明の実施例8の収差曲線図

【図30】本発明の実施例9の収差曲線図

【図31】本発明の実施例10の収差曲線図

【図32】本発明の実施例11の収差曲線図

【図33】本発明の実施例12の収差曲線図

【図34】本発明の実施例13の収差曲線図

【図35】本発明の実施例14の収差曲線図

【図36】本発明の実施例15の収差曲線図

【図37】本発明の実施例16の収差曲線図

【図38】本発明の実施例17の収差曲線図

【図39】本発明の実施例18の収差曲線図

【図40】本発明の実施例19の収差曲線図

【図41】屈折率分布の一例を示す図

【図42】屈折率分布の他の例を示す図

【図43】結像レンズの一例を示す図

【図 4 4】本発明の光学系を適用した銀塩カメラの概略図

\* 略図

図

【図 4 5】本発明の光学系を適用した顕微鏡の概略図

【図 4 9】本発明の光学系を適用した携帯テレビ電話の概略図

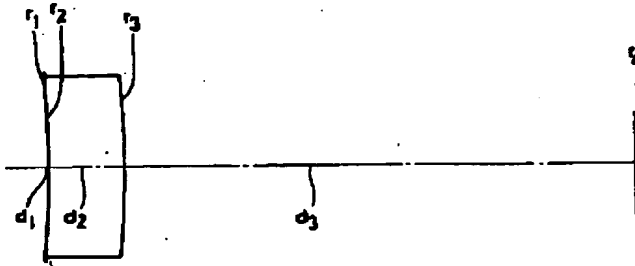
【図 4 6】本発明の光学系を適用した内視鏡の概略図

【図 5 0】本発明の光学系を適用した携帯情報入力装置の概略図である

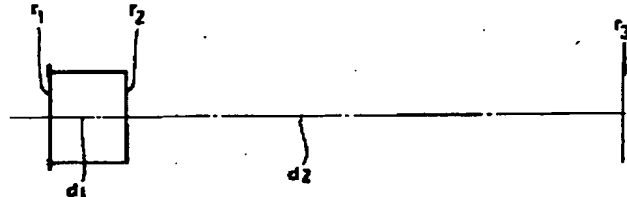
【図 4 7】本発明の光学系を適用した硬性鏡の概略図

【図 4 8】本発明の光学系を適用したビデオカメラの概\*

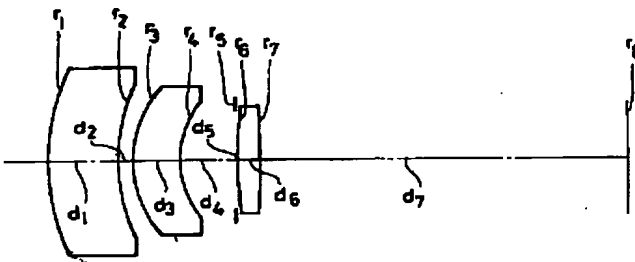
【図 1】



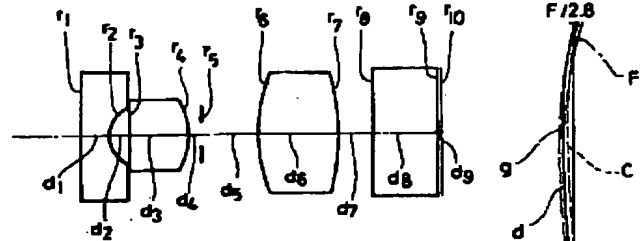
【図 2】



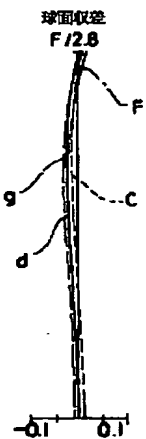
【図 3】



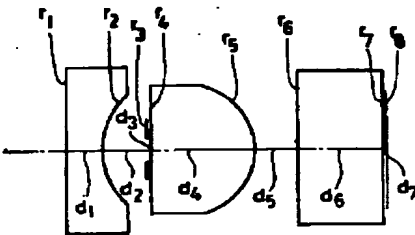
【図 4】



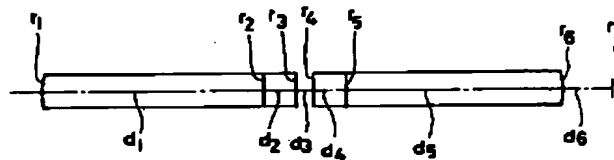
【図 20】



【図 5】

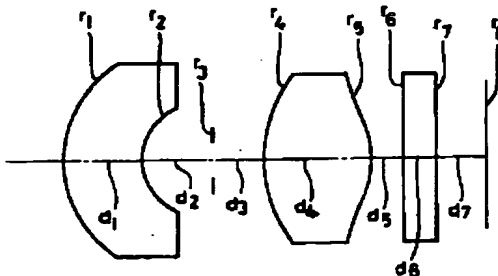
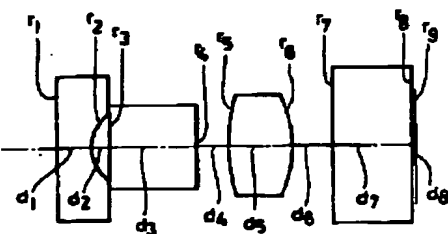


【図 6】

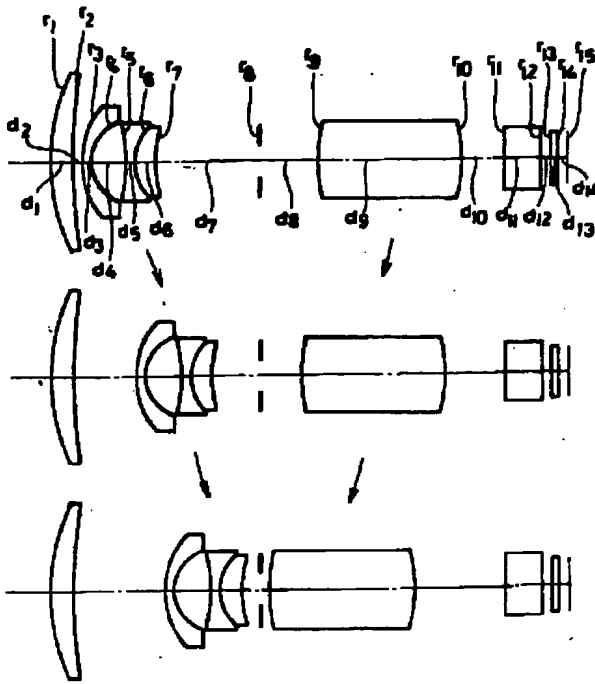


【図 9】

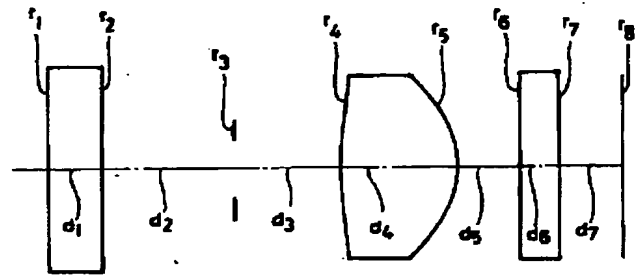
【図 8】



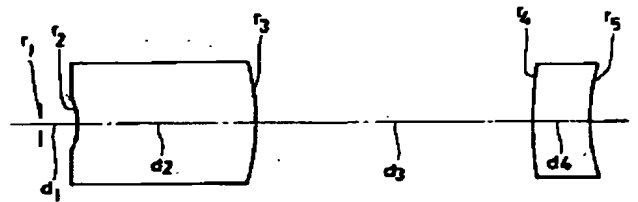
【図 7】



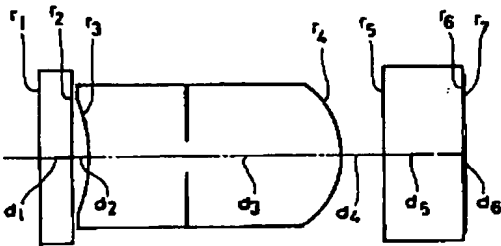
【図 10】



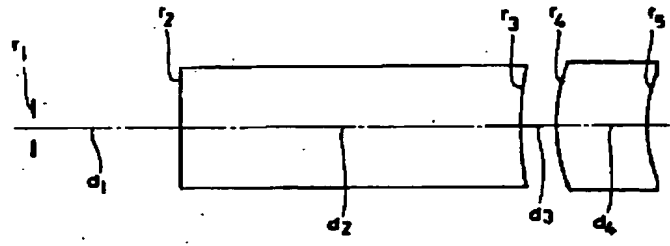
【図 13】



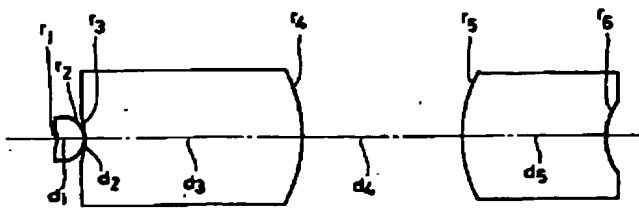
【図 11】



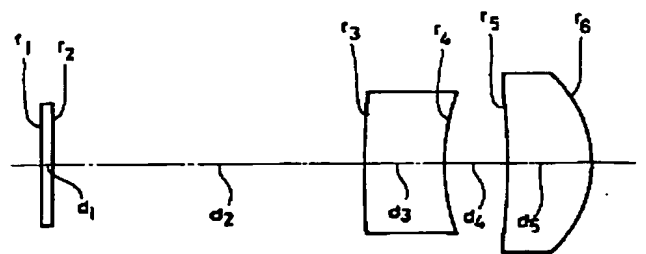
【図 12】



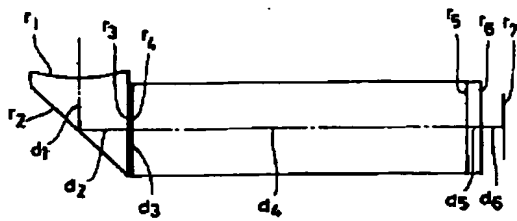
【図 14】



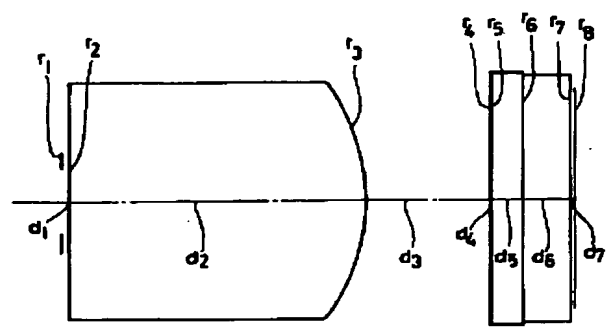
【図 15】



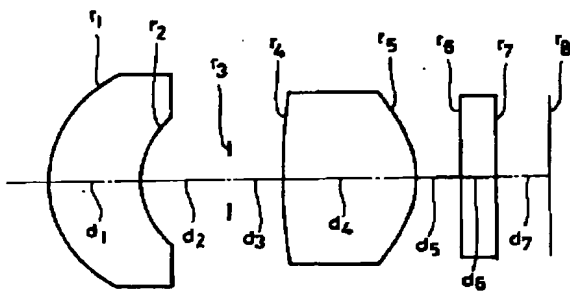
【図 16】



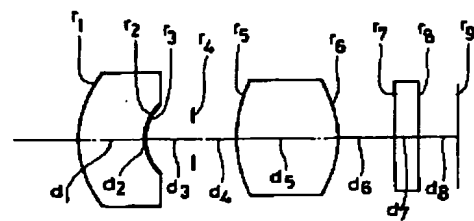
【図 17】



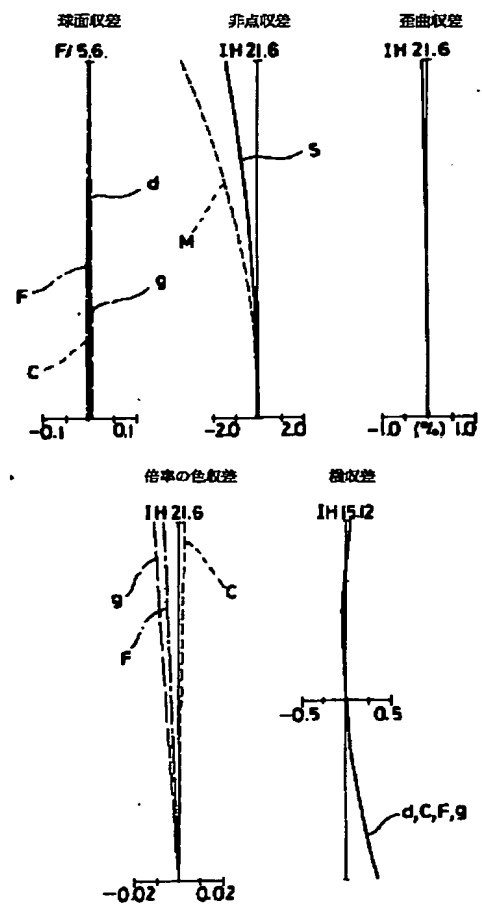
【図 18】



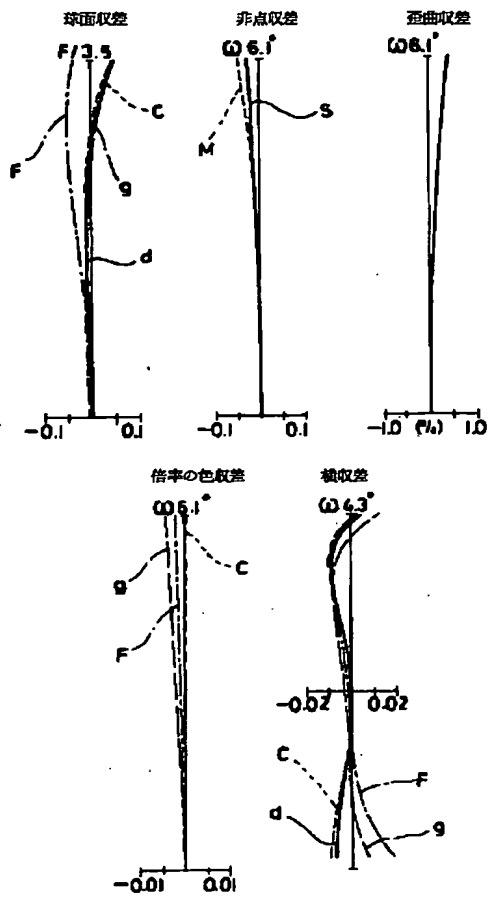
【図 19】



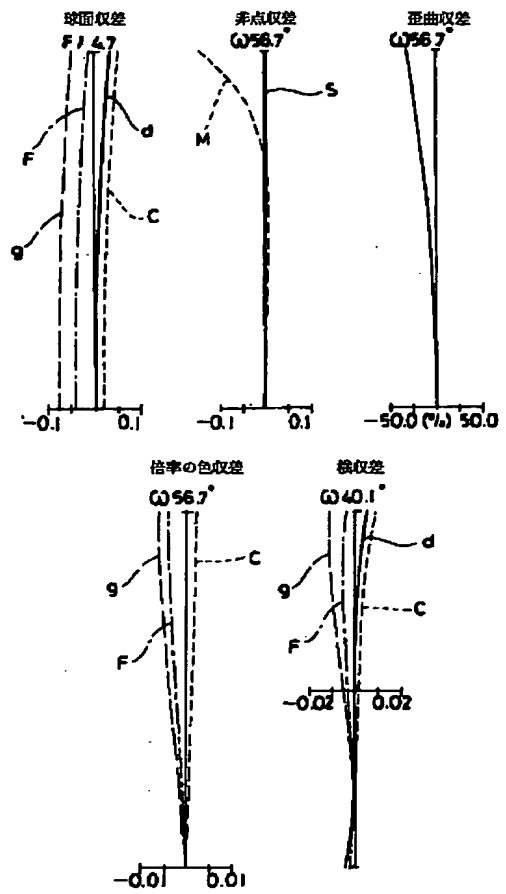
【図 21】



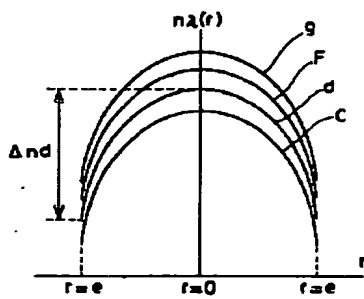
【図 22】



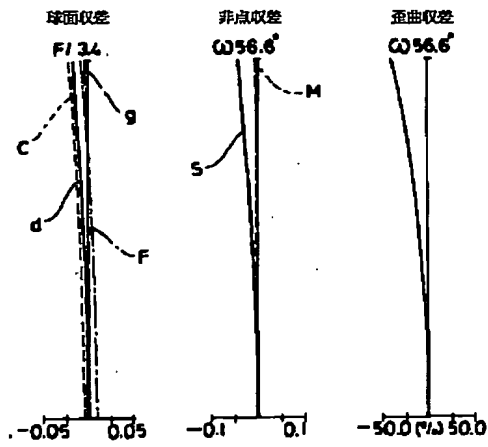
【図 23】



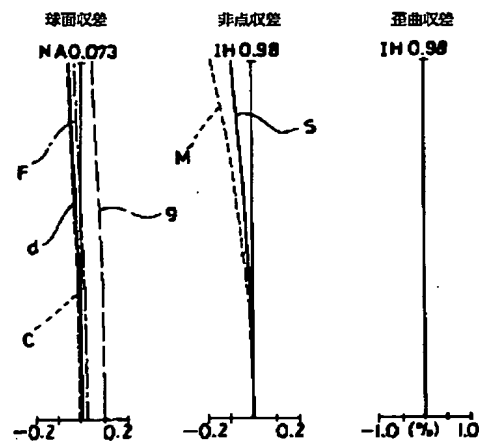
【図 41】



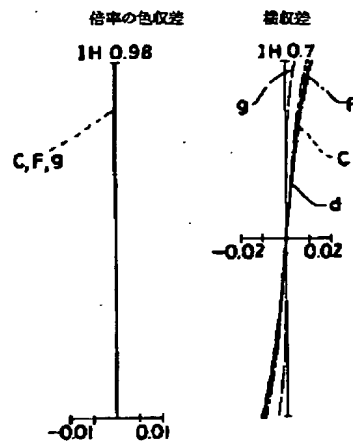
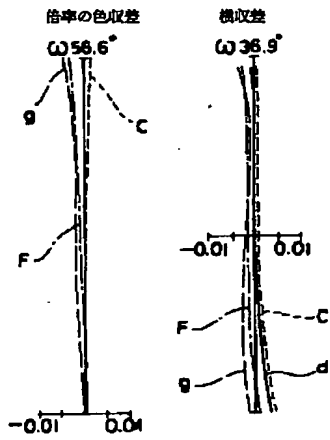
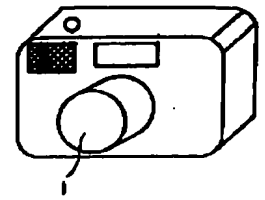
【図 24】



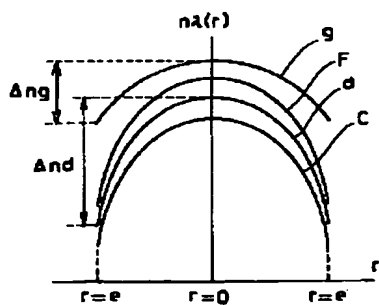
【図 25】



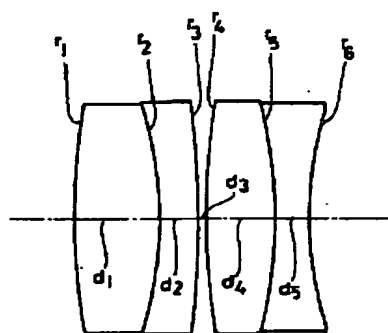
【図 44】



【図 42】

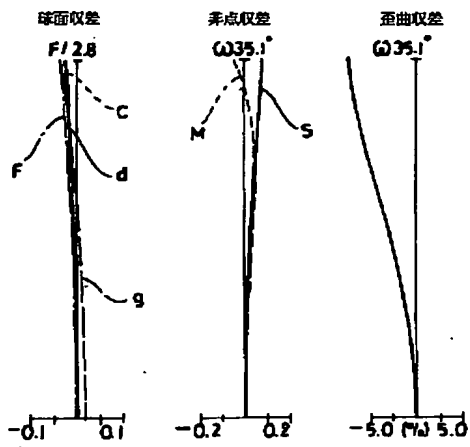


【図 43】

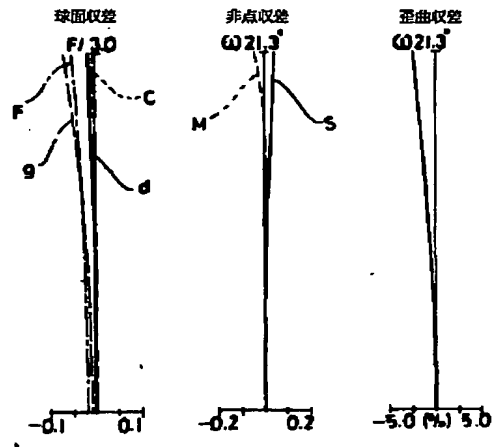




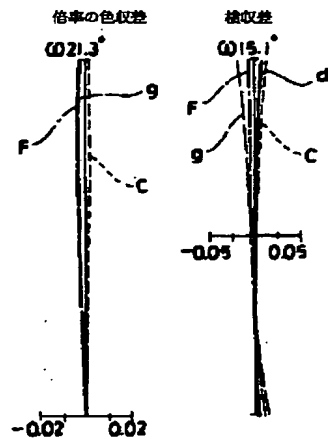
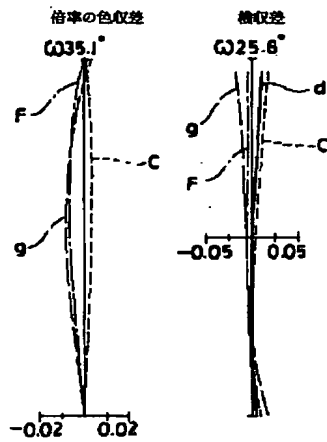
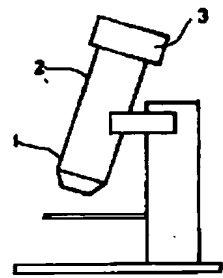
【図 26】



【図 27】



【図 45】

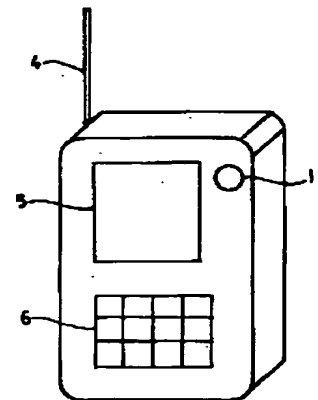
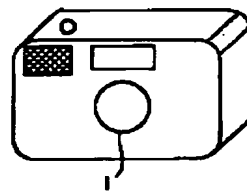
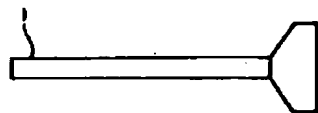
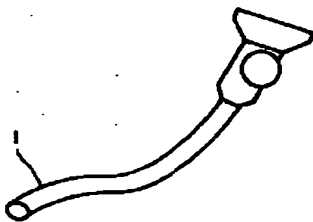


【図 46】

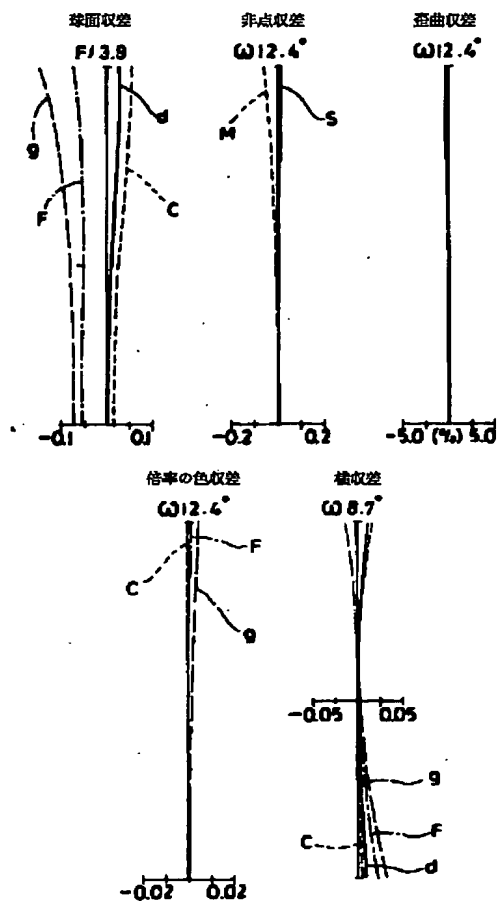
【図 47】

【図 48】

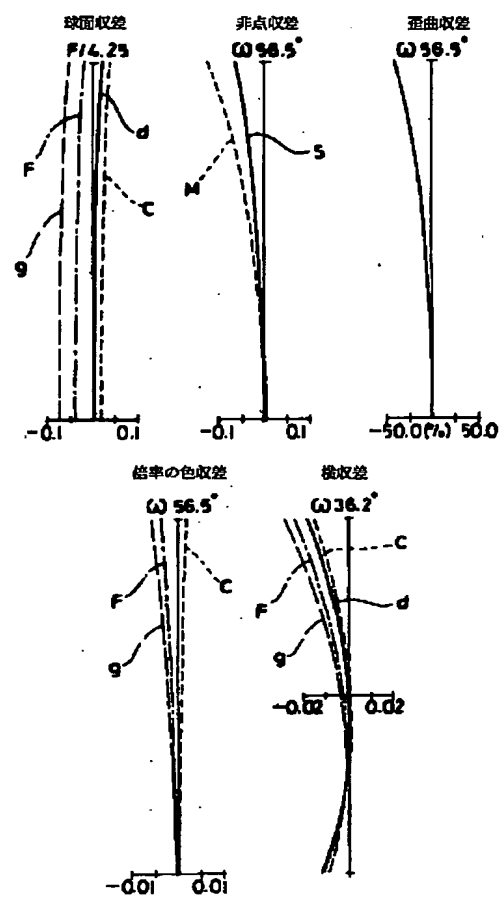
【図 49】



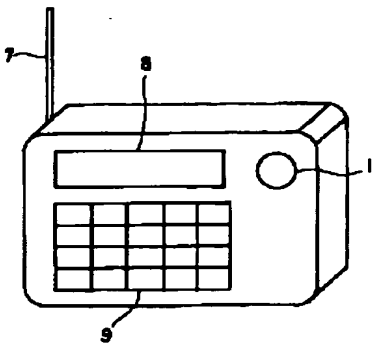
【図 28】



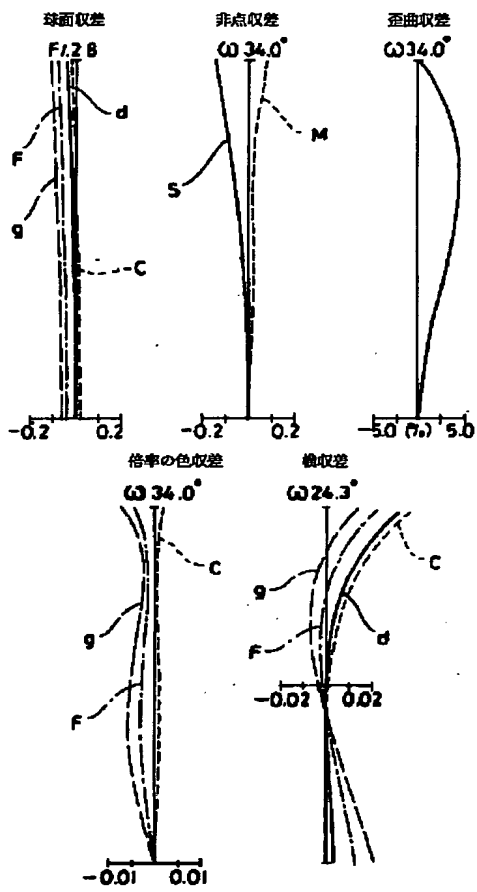
【図 29】



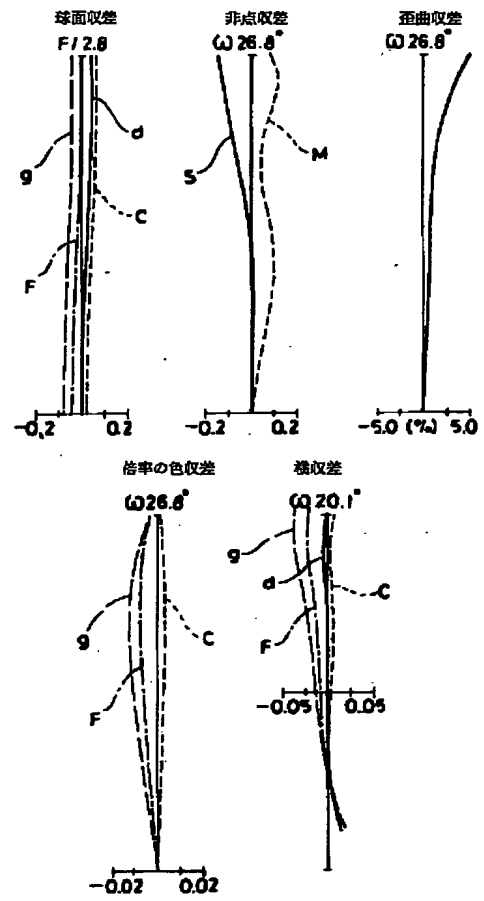
【図 50】



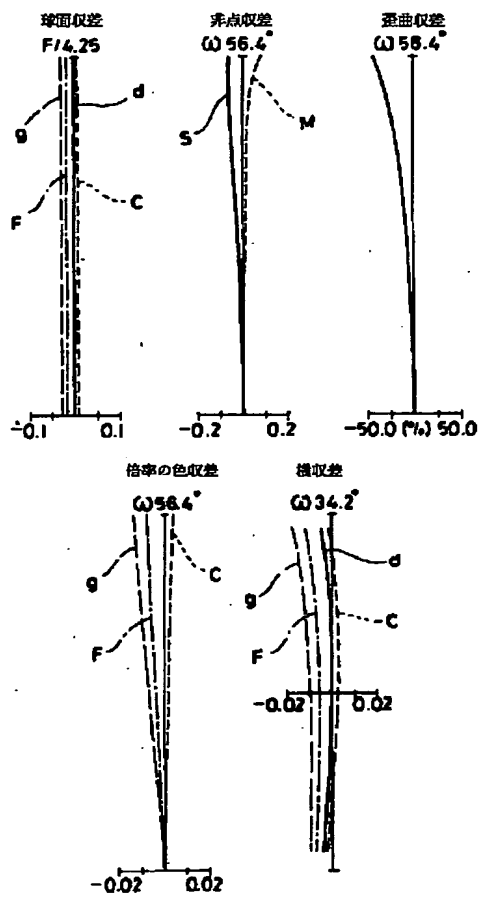
【図 30】



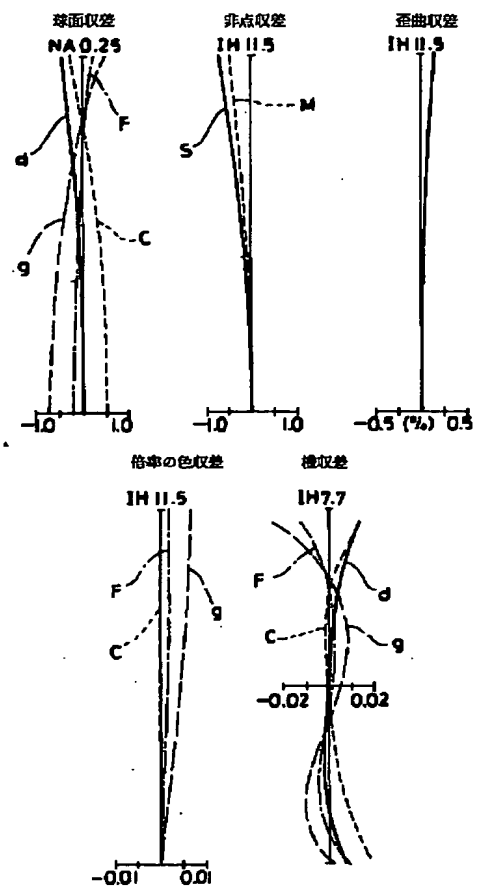
【図 31】



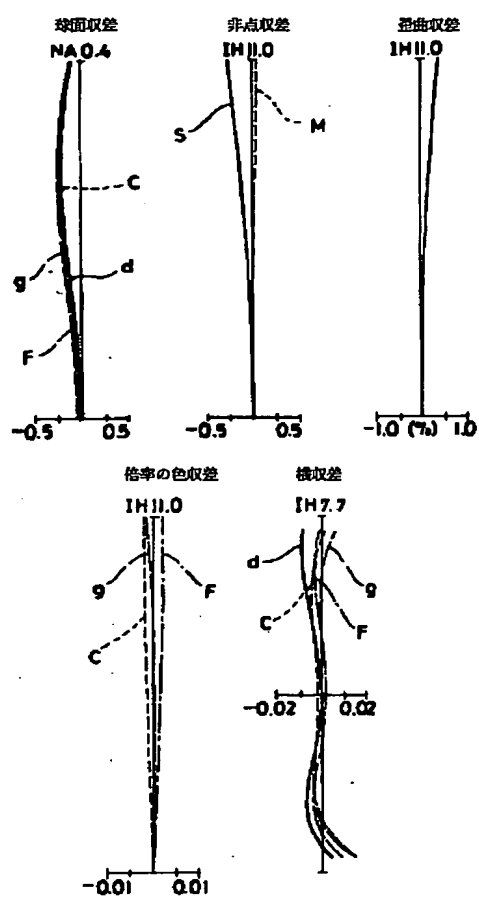
【図 3 2】



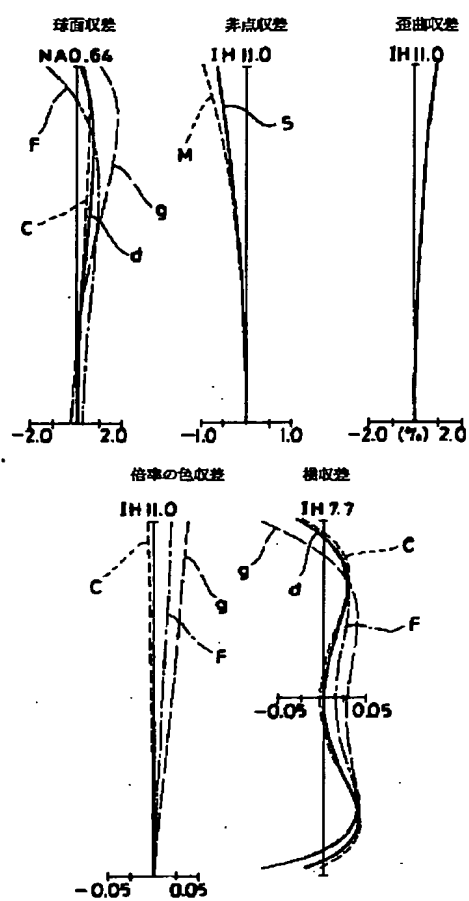
【図 3 3】



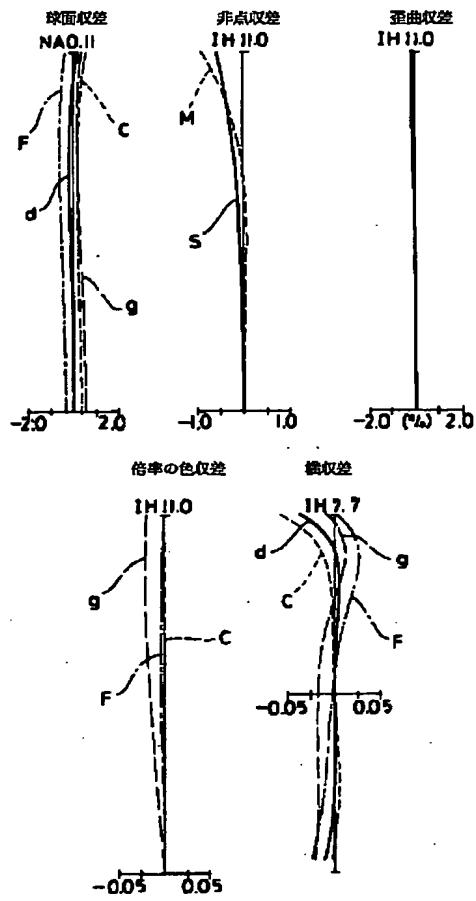
【図 34】



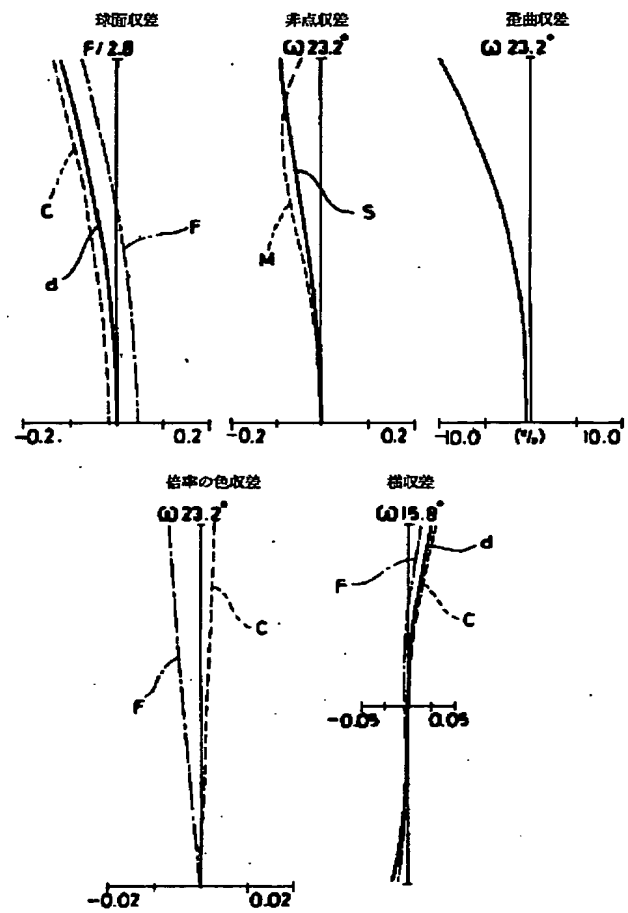
【図 35】



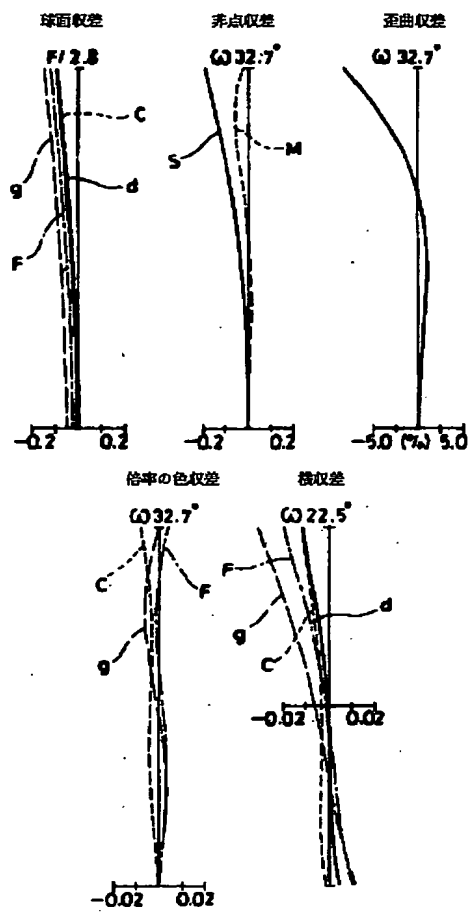
【図 36】



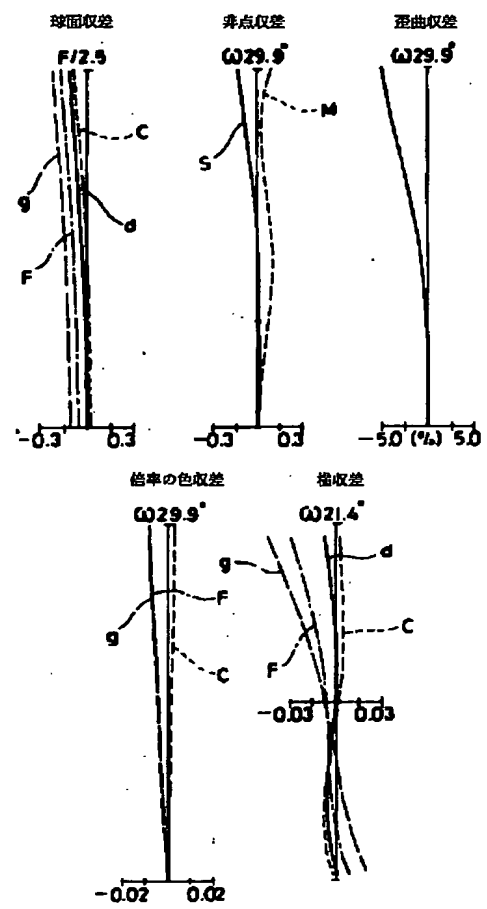
【図 37】



【図 38】



【図 39】



【図 40】

